

**DLR-IB-BT-AU-2018-220**

**Messprotokoll zu  
Thermographiemessungen an  
Thermoplast-Pressplatten**

Christoph Frommel



**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt**

## Dokumenteigenschaften

Titel	Messprotokoll zu Thermographiemessungen an Thermoplast-Pressplatten
Betreff	PAG
Institut	Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie
Erstellt von	Christoph Frommel
Beteiligte	Christoph Frommel, Stefan Jarka, Dietfried Henning, Andreas Buchheim
Geprüft von	
Freigabe von	
Datum	07.12.2018
Version	1.0
Dateipfad	

# Inhaltsverzeichnis

<b>Dokumenteigenschaften .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Messaufbau .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Kameraparameter .....</b>	<b>8</b>
<b>3. Messparameter .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Messablauf .....</b>	<b>10</b>
4.1. REF-1-A .....	10
4.1.1. Messung von OBEN .....	10
4.1.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	10
4.1.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	13
4.1.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	15
4.1.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	17
4.1.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	19
4.1.2. Messungen von UNTEN .....	21
4.1.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	21
4.1.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	23
4.1.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	25
4.1.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	27
4.1.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	29
4.1.3. Interpretierung .....	31
4.2. REF-01 .....	32
4.2.1. Messung von OBEN .....	32
4.2.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	32
4.2.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	35
4.2.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	37
4.2.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	39
4.2.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	41
4.2.2. Messungen von UNTEN .....	43
4.2.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	43
4.2.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	45
4.2.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	47
4.2.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	49
4.2.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	51
4.2.3. Interpretierung .....	53
4.3. REF-02 .....	54
4.3.1. Messung von OBEN .....	54

4.3.1.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	54
4.3.1.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	57
4.3.1.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	59
4.3.1.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	61
4.3.1.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	63
4.3.2.	Messungen von UNTEN .....	65
4.3.2.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	65
4.3.2.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	67
4.3.2.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	69
4.3.2.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	71
4.3.2.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	73
4.3.3.	Interpretierung .....	75
4.4.	REF-03 .....	76
4.4.1.	Messung von OBEN .....	76
4.4.1.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	76
4.4.1.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	79
4.4.1.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	81
4.4.1.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	83
4.4.1.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	85
4.4.2.	Messungen von UNTEN .....	87
4.4.2.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	87
4.4.2.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	89
4.4.2.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	91
4.4.2.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	93
4.4.2.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	95
4.4.3.	Interpretierung .....	97
4.5.	REF-04 .....	98
4.5.1.	Messung von OBEN .....	98
4.5.1.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	98
4.5.1.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	101
4.5.1.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	103
4.5.1.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	105
4.5.1.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	107
4.5.2.	Messungen von UNTEN .....	109
4.5.2.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	109
4.5.2.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	111
4.5.2.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	113
4.5.2.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	115
4.5.2.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	117
4.5.3.	Interpretierung .....	119



4.6. REF-05 .....	120
4.6.1. Messung von OBEN .....	120
4.6.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	120
4.6.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	123
4.6.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	125
4.6.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	127
4.6.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	129
4.6.2. Messungen von UNTEN .....	131
4.6.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	131
4.6.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	133
4.6.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	135
4.6.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	137
4.6.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	139
4.6.3. Interpretierung .....	141
4.7. REF-06 .....	142
4.7.1. Messung von OBEN .....	142
4.7.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	142
4.7.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	145
4.7.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	147
4.7.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	149
4.7.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	151
4.7.2. Messungen von UNTEN .....	153
4.7.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	153
4.7.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	155
4.7.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	157
4.7.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	159
4.7.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	161
4.7.3. Interpretierung .....	163
4.8. REF-07 .....	164
4.8.1. Messung von OBEN .....	164
4.8.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	164
4.8.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	167
4.8.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	169
4.8.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	171
4.8.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	173
4.8.2. Messungen von UNTEN .....	175
4.8.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	175
4.8.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	177
4.8.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	179
4.8.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	181

4.8.2.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	183
4.8.3.	Interpretierung .....	185
4.9.	REF-08 .....	186
4.9.1.	Messung von OBEN .....	186
4.9.1.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	186
4.9.1.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	189
4.9.1.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	191
4.9.1.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	193
4.9.1.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	195
4.9.2.	Messungen von UNTEN .....	197
4.9.2.1.	0,3 Hz = ca. 0,65 mm .....	197
4.9.2.2.	0,1 Hz = ca. 1,13 mm .....	199
4.9.2.3.	0,05 Hz = ca. 1,60 mm .....	201
4.9.2.4.	0,03 Hz = ca. 2,06 mm .....	203
4.9.2.5.	0,02 Hz = ca. 2,52 mm .....	205
4.9.3.	Interpretierung .....	207
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>		<b>208</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>		<b>213</b>

## 1. Messaufbau

Der Messaufbau besteht aus 2 Halogenscheinwerfern mit jeweils 2 betriebenen Leuchtmitteln. Jedes Leuchtmittel besitzt maximal 1250 W Leistung. Die Ausrichtung der Scheinwerfer wurde so gewählt, dass die Probekörper homogen beleuchtet werden und sich nicht im Kamerabild spiegeln. Die Probekörper müssen aufgrund ihrer glänzenden Oberfläche in einem Winkel angestellt werden, sodass sich die Kamera nicht in der Oberfläche spiegelt. Um Fremdstrahlung und Reflektionen zu vermeiden wurden die Probekörper auf stark absorbierenden Pressspanplatten positioniert. Der im Bild zu sehende Messaufbau stellt reproduzierbare, vergleichbare Messungen der Probekörper dar und schließt Fehler durch Fremdstrahlung und Reflektionen aus. Der Arbeitsabstand beträgt ca. 1550 mm was den kompletten Probekörper im Kamerabild zeigt, mit ausreichendem Abstand zu den Rändern des Kamerabildes um Verzerrungen zu minimieren. Mit diesem Abstand bilden 566 Pixel die horizontale Kantenlänge des Probekörpers was bei ca. 495mm Kantenlänge des Probekörpers zu einem Verhältnis von 0,875 mm/Pixel resultieren.

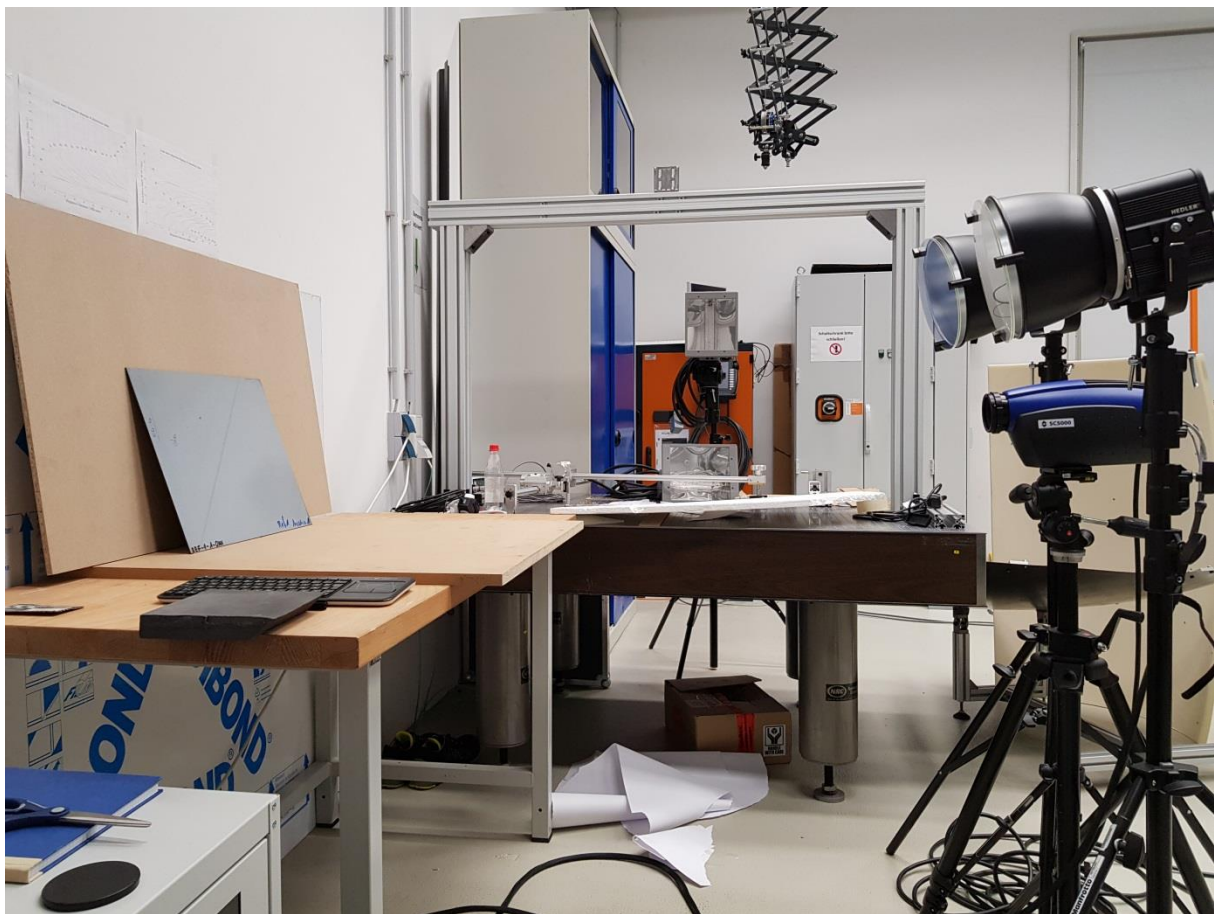


Abbildung 1: Versuchsaufbau

## 2. Kameraparameter

In folgender Grafik können die Kameraparameter eingesehen werden. Es wurde die maximale Auflösung von Horizontal 640 auf Vertikal 512 Pixel mit der damit maximal möglichen Aufnahmefrequenz von 100 Hz verwendet. Die Kamera wurde mit Filtern und der damit verbunden NUC-Tabelle in Betrieb genommen. Die Integrationszeit beträgt 3,8 ms um kleinere Temperaturunterschieden besser aufzulösen. Der Focus der Kamera war bei dem vorliegenden Arbeitsabstand von ca. 1550 mm bei 1892. Die Synchronisation der Bildausgabe garantiert reproduzierbare Messergebnisse.

Kamera	
Maximale Auflösung	0,0,640,512
Aktive Auflösung	0,0,640,512
Wiedergabefrequenz	100 Hz ▾
Maximale Wiedergabefrequenz	100 Hz ▾
Filter	HP_4.00_100% ▾
Brennweitenposition	1892
Autofokus	Ausführen
Integrationszeit	0,0038 s ▾
Bildausgabetrigger aktiviert	<input checked="" type="checkbox"/>
Eingangstrigger Modus	Aus ▾
NUC-Tabelle	2: 100.00 Hz - 3800.00 $\mu$ s - HP_4.00_100% ▾
Kameralaufzeit	1901
Kameraname	FLIR Silver
Seriennummer	206541

Abbildung 2: Kameraparameter

### 3. Messparameter

Die Messparameter wurden aufgrund der Dicke der Probekörper, bei bis zu maximal 4mm Dicke, in 5 unterschiedliche Frequenzen aufgeteilt. Die folgenden Bilder beschreiben die Berechnung der Messparameter. Entscheidend für die Eindringtiefe der Messung ist die Anregungsfrequenz der Lock-In Thermographie. Durch den Lagenaufbau mit Glasfasern an der Oberfläche und den folgenden Kohlefaserschichten ist die exakte Bestimmung der thermischen Diffusivität ohne Versuch schwierig. Da das Laminat hauptsächlich aus Kohlefasern besteht wurde mit Standardwerten aus der Literatur für die Wärmeleitung von CFK die folgenden Messparameter bestimmt und berechnet. Wobei die Exakte thermische Eindringtiefe durch den Literaturwert der thermischen Diffusivität leicht abweichen kann.

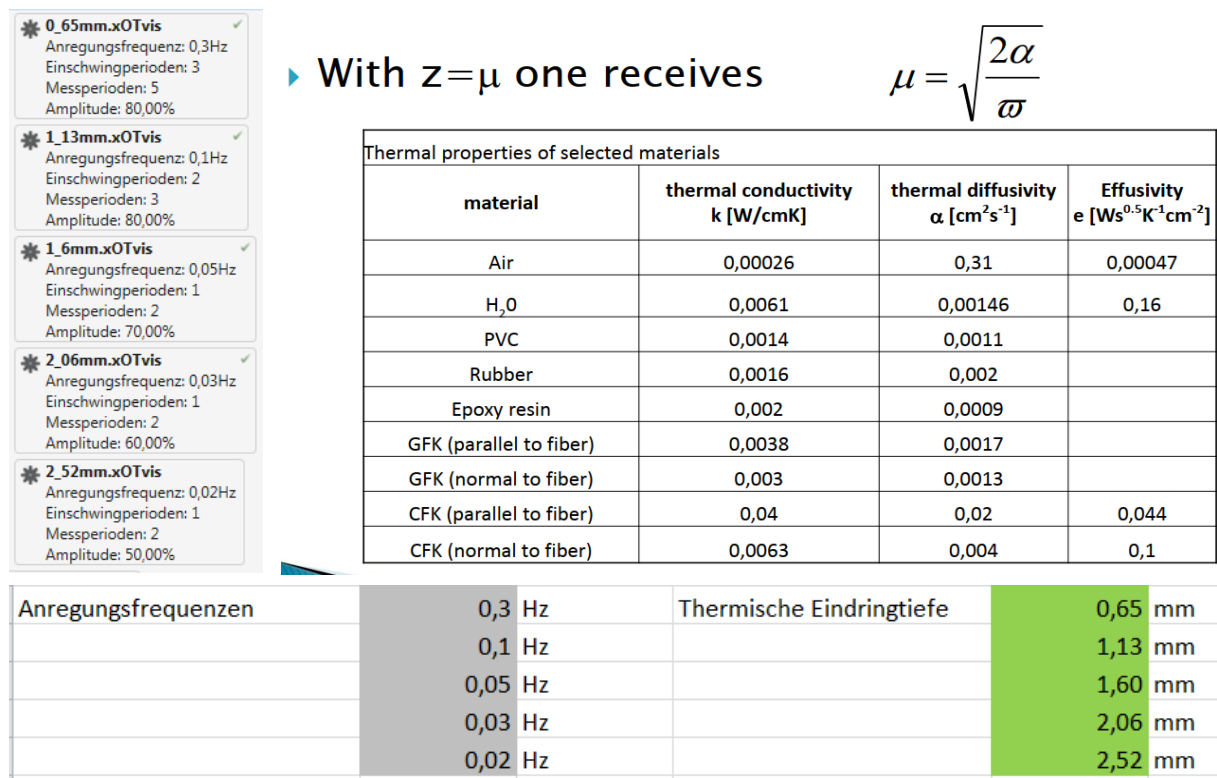


Abbildung 3: Messparameter

Mit einer maximalen Eindringtiefe von ca. 2,52 mm kann mit einer Messung von beiden Seiten eine Durchdringung des gesamten Prüfkörpers garantiert werden. Die Einschwingperioden werden benötigt um den Prüfkörper auf ein Temperaturniveau zu bringen das während der Messperioden gehalten wird und ist aus Erfahrungswerten bestimmt. Die Amplituden wurden so gewählt, dass sich der Prüfkörper während der Messung nicht zu stark erhitzt und somit Phasensprünge aufgrund der Auflösung des Messverfahrens ergeben.

## 4. Messablauf

Jede Platte wird abwechselnd gemessen, beginnend mit der höchsten Frequenz und der OBEREN Seite. Anschließend werden abwechselnd die UNTERseiten gemessen. Dieser Vorgang gewährleistet ein Abkühlen der Probekörper zwischen den Wechseln auf die andere Seite und den einzelnen Frequenzen. Durch das Abkühlen wird eine reproduzierbare Ausgangstemperatur vor der Messung sichergestellt.

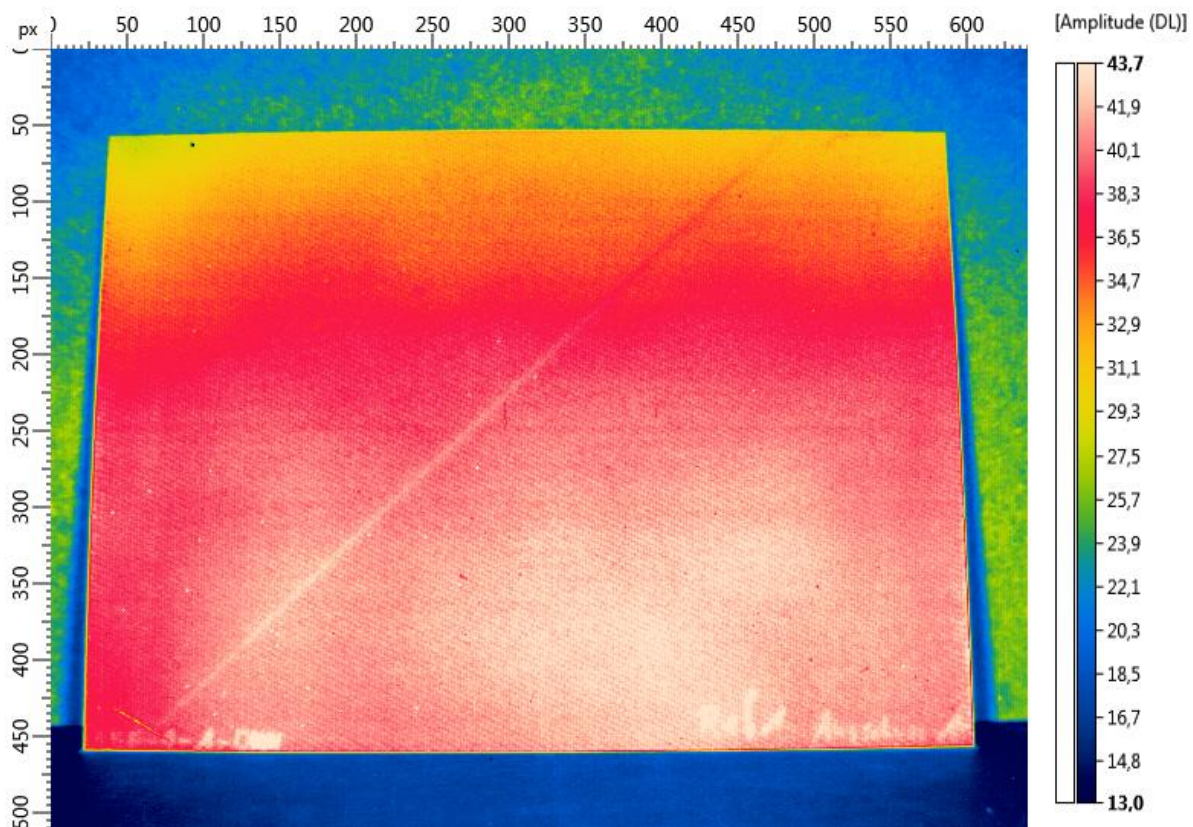
### 4.1. REF-1-A

Tabelle 1: Dickenmessung REF-1-A

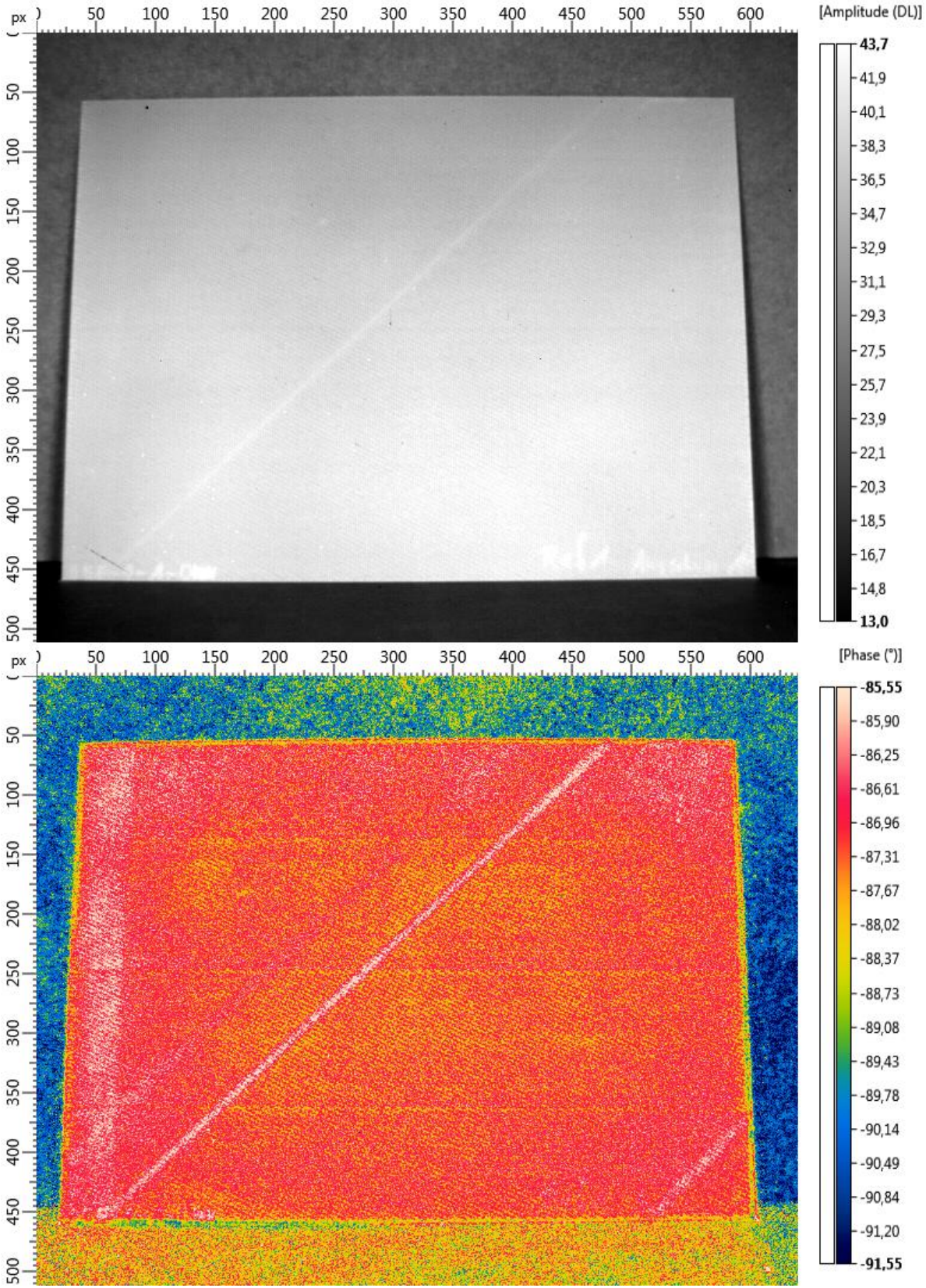
3,2 mm	3,2 mm
3,2 mm	3,2 mm

#### 4.1.1. Messung von OBEN

##### 4.1.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







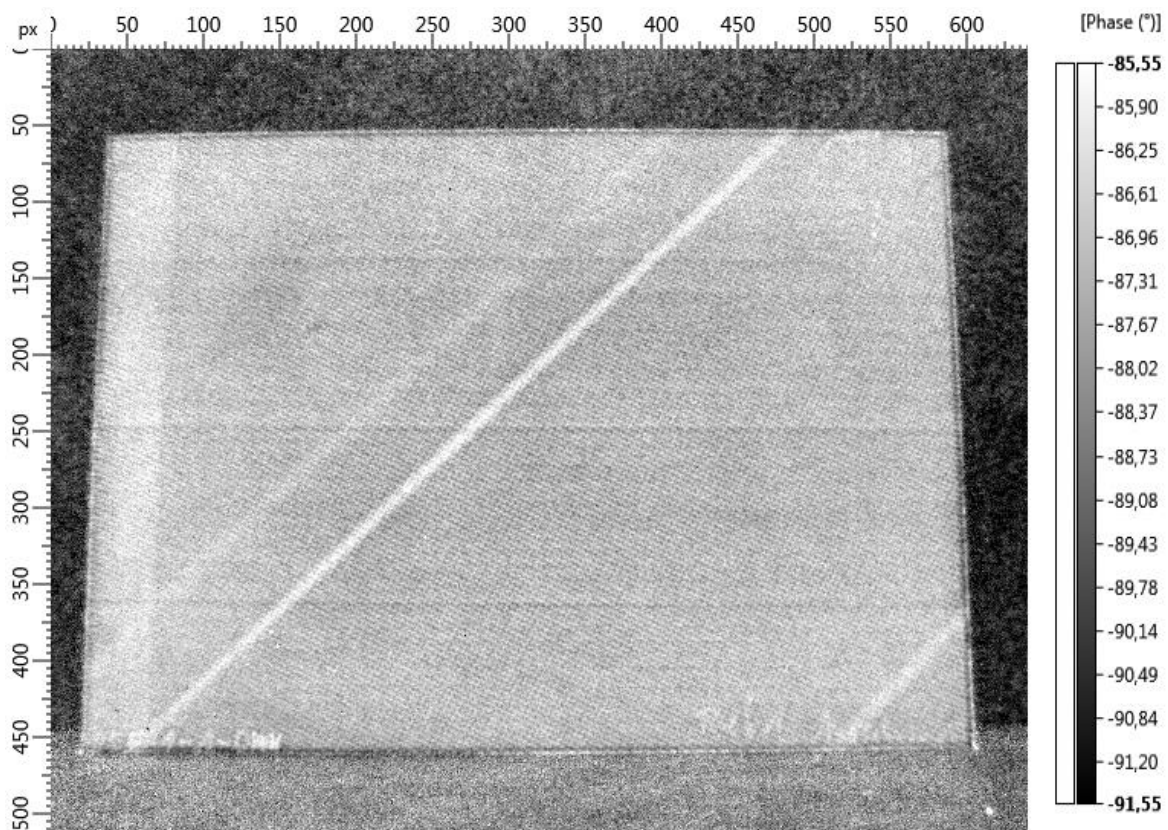
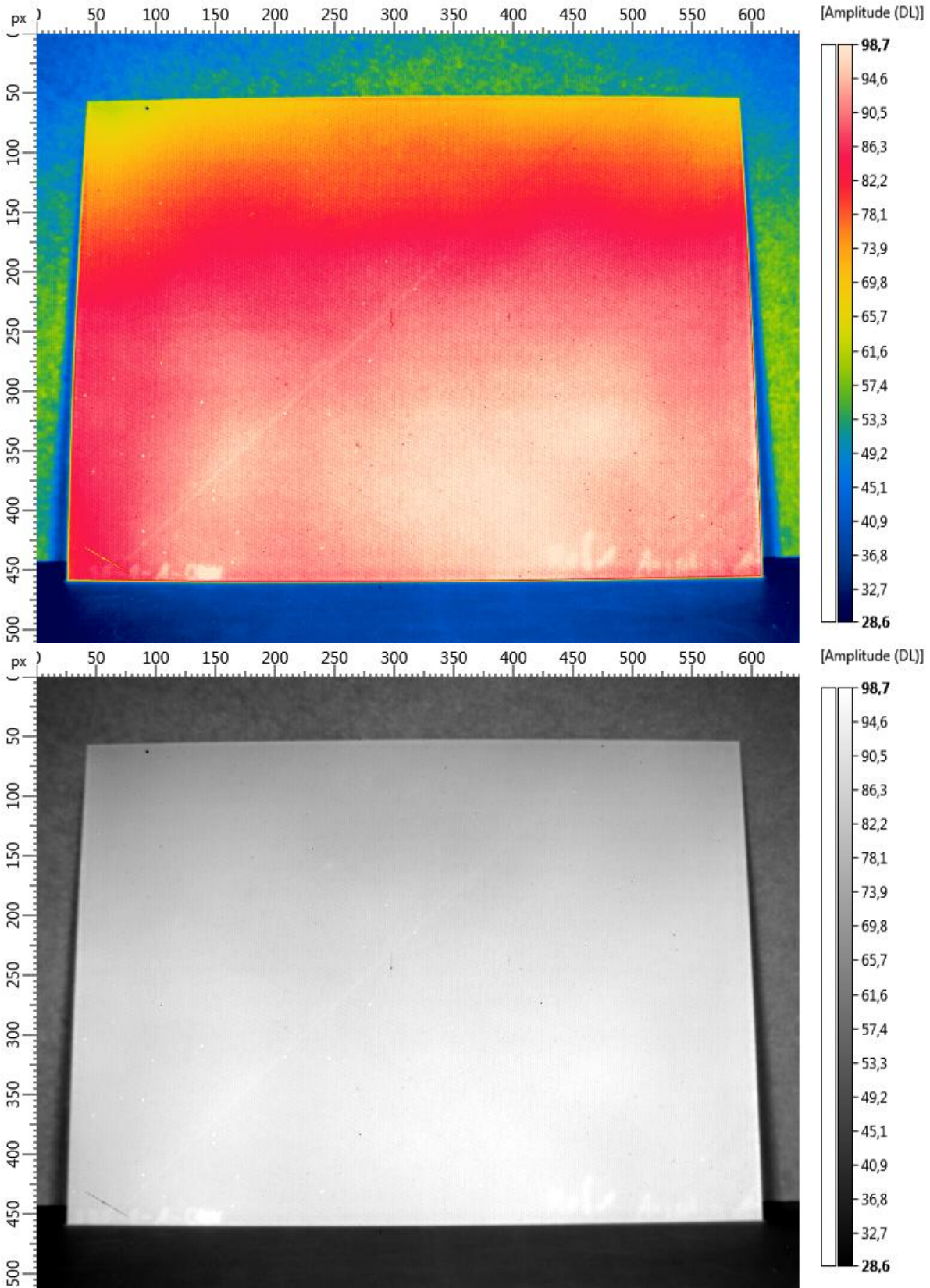


Abbildung 4: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



4.1.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





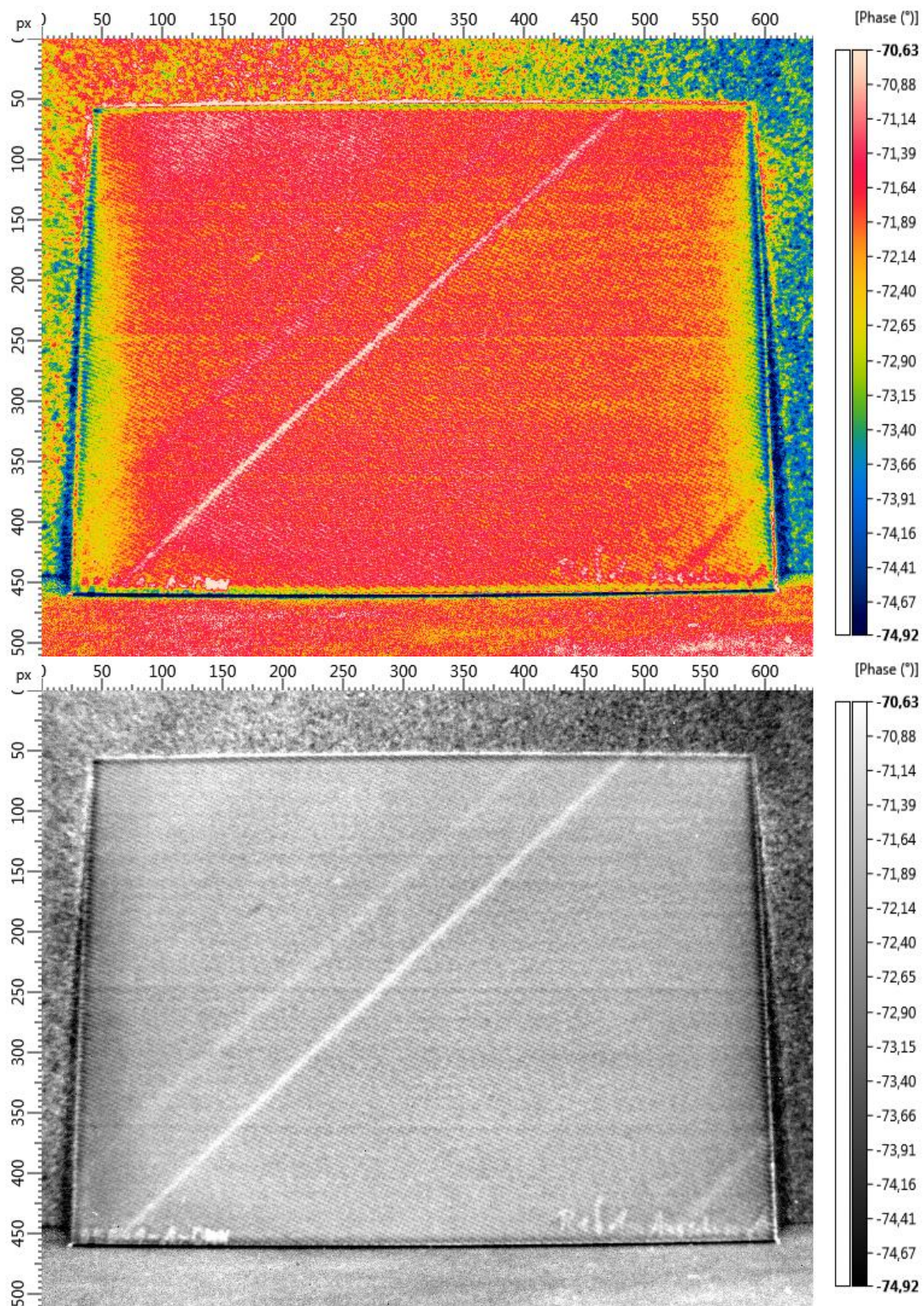
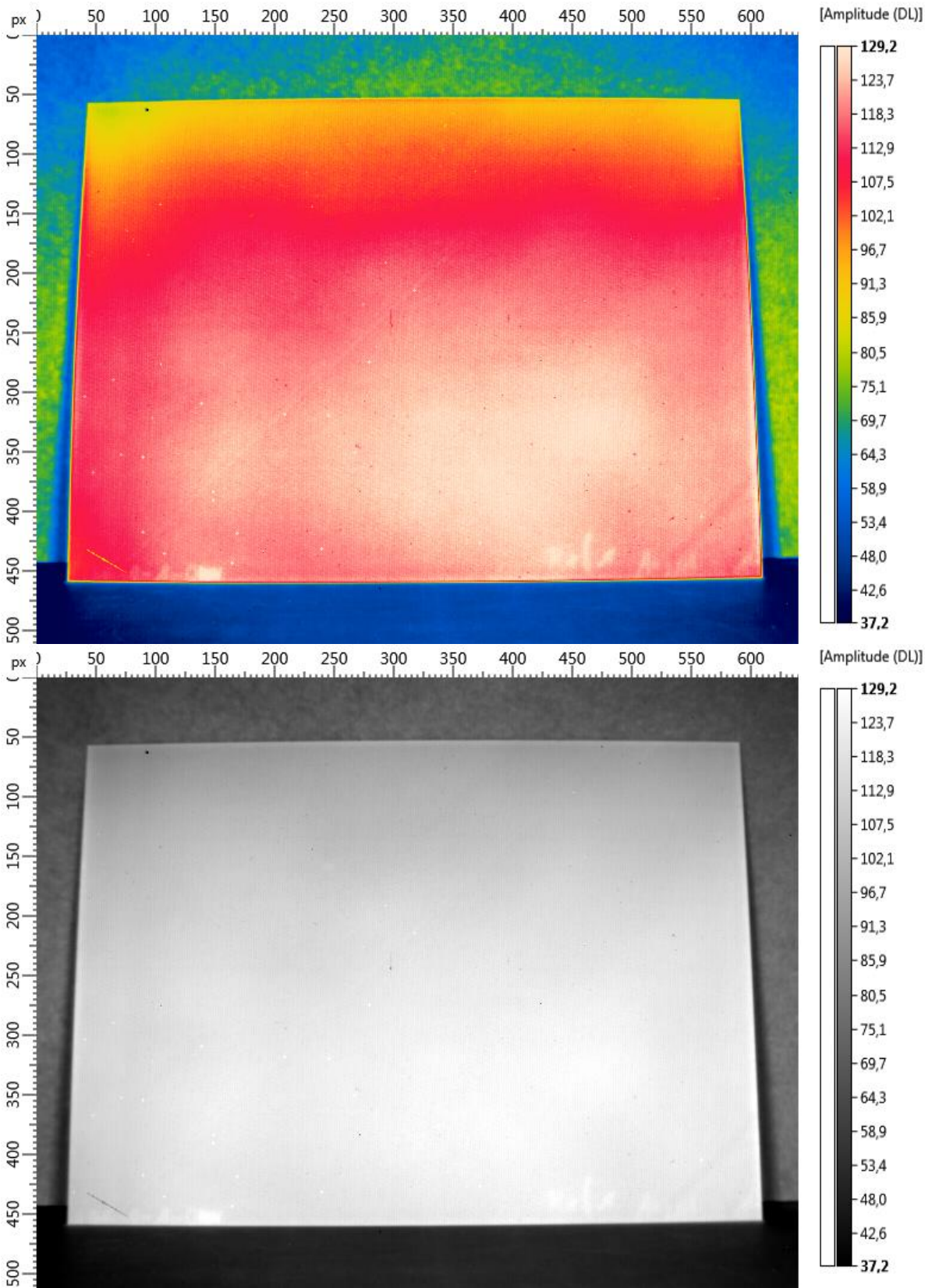


Abbildung 5: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



4.1.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm



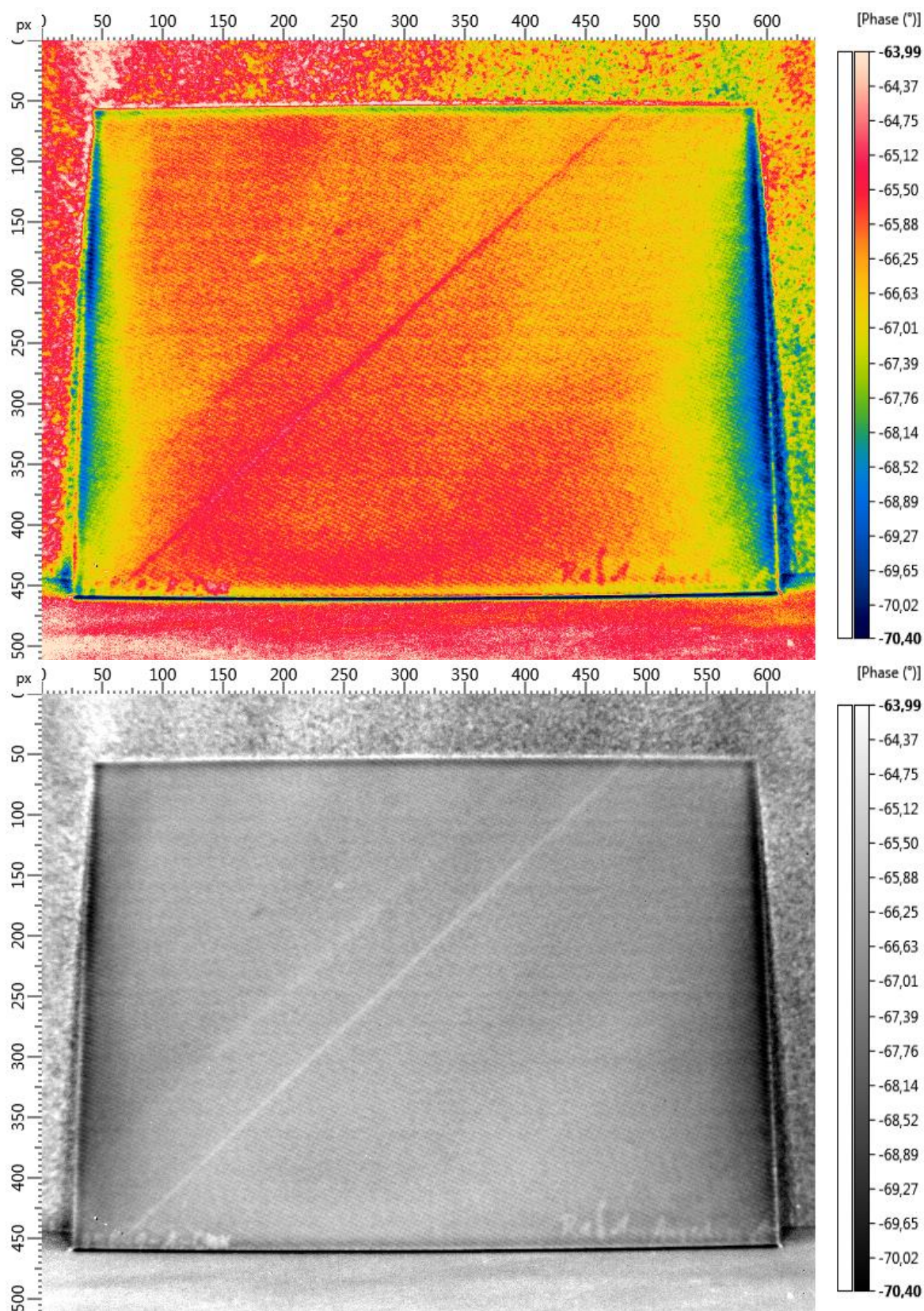
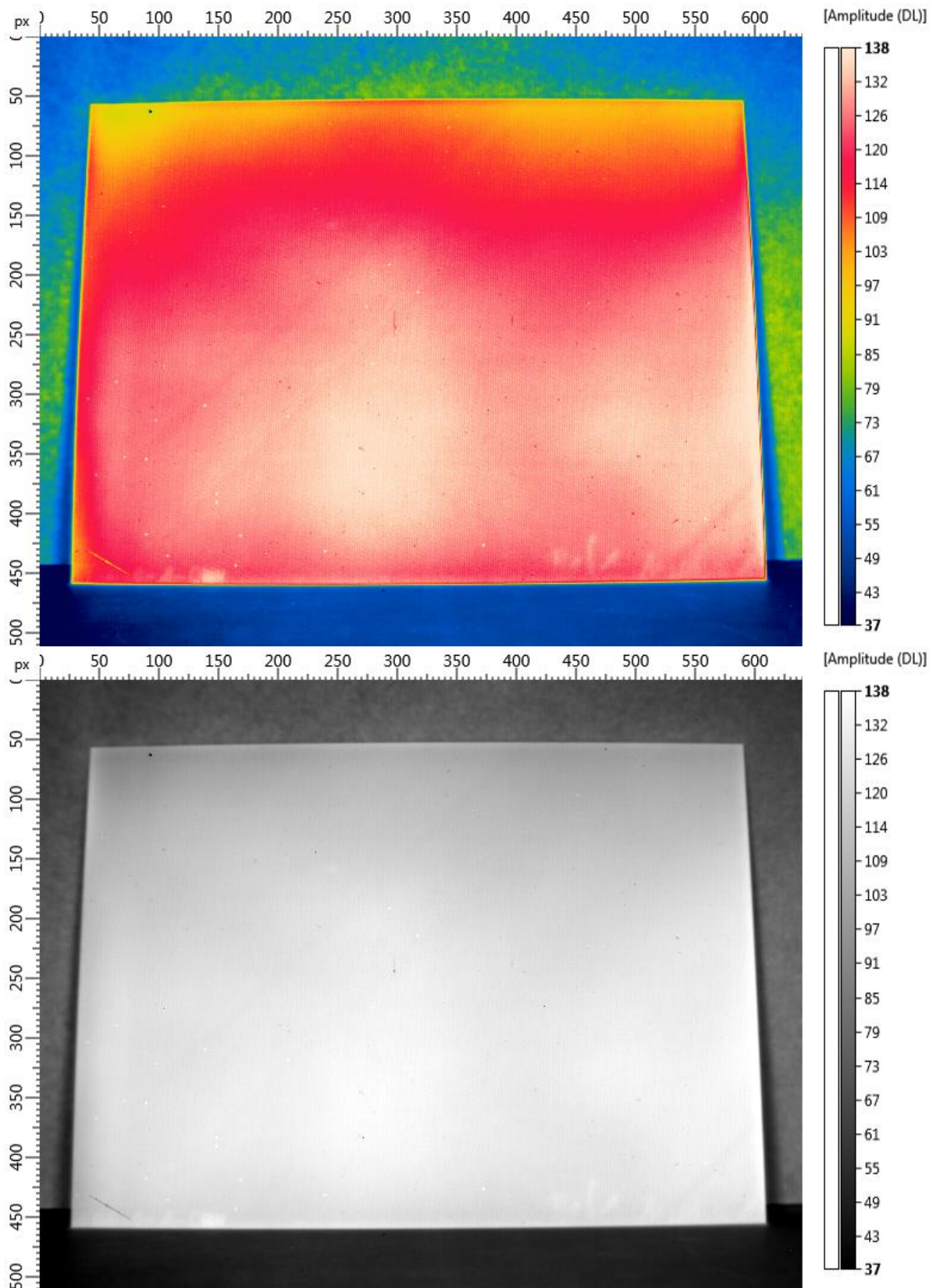


Abbildung 6: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala



#### 4.1.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm



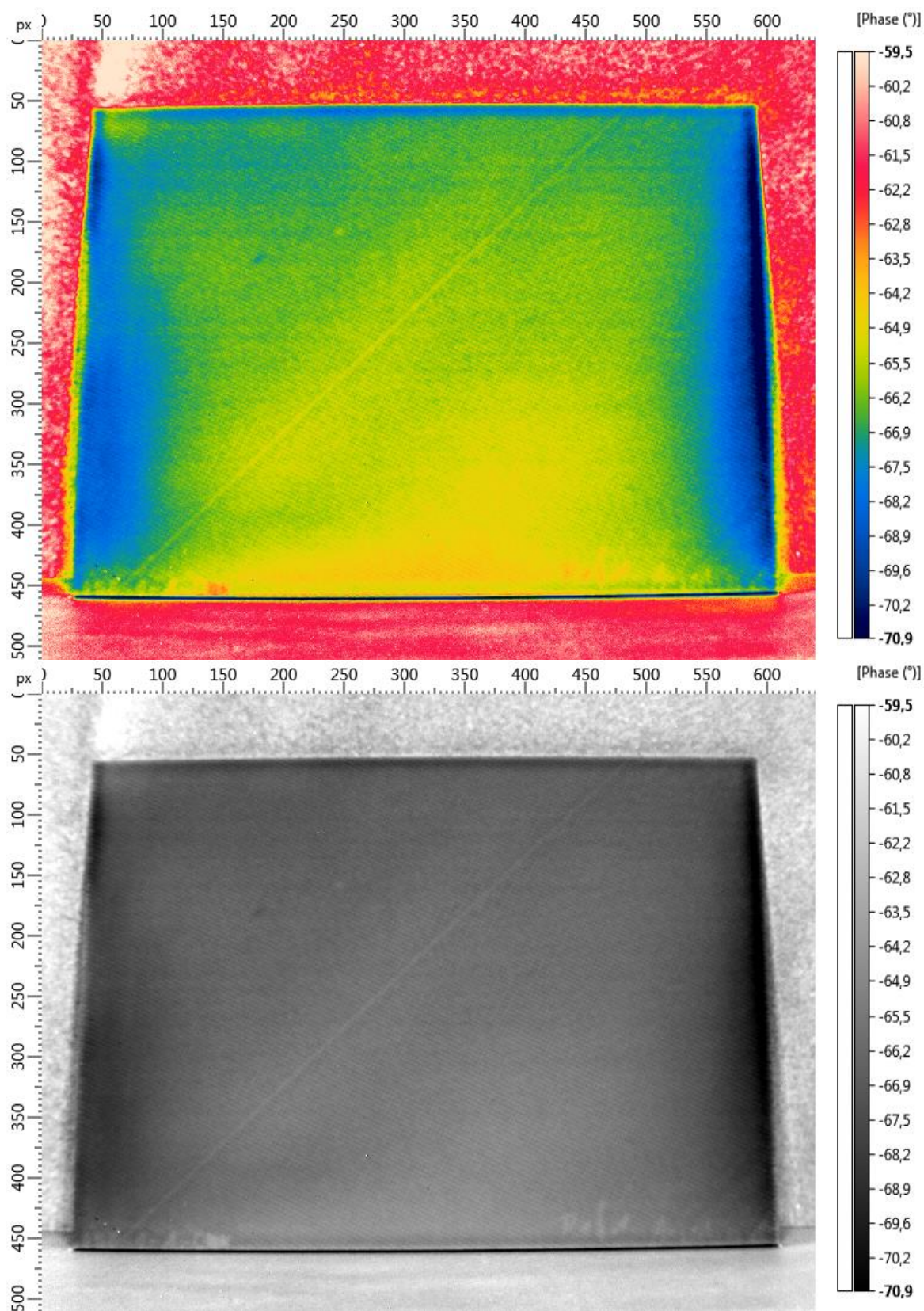
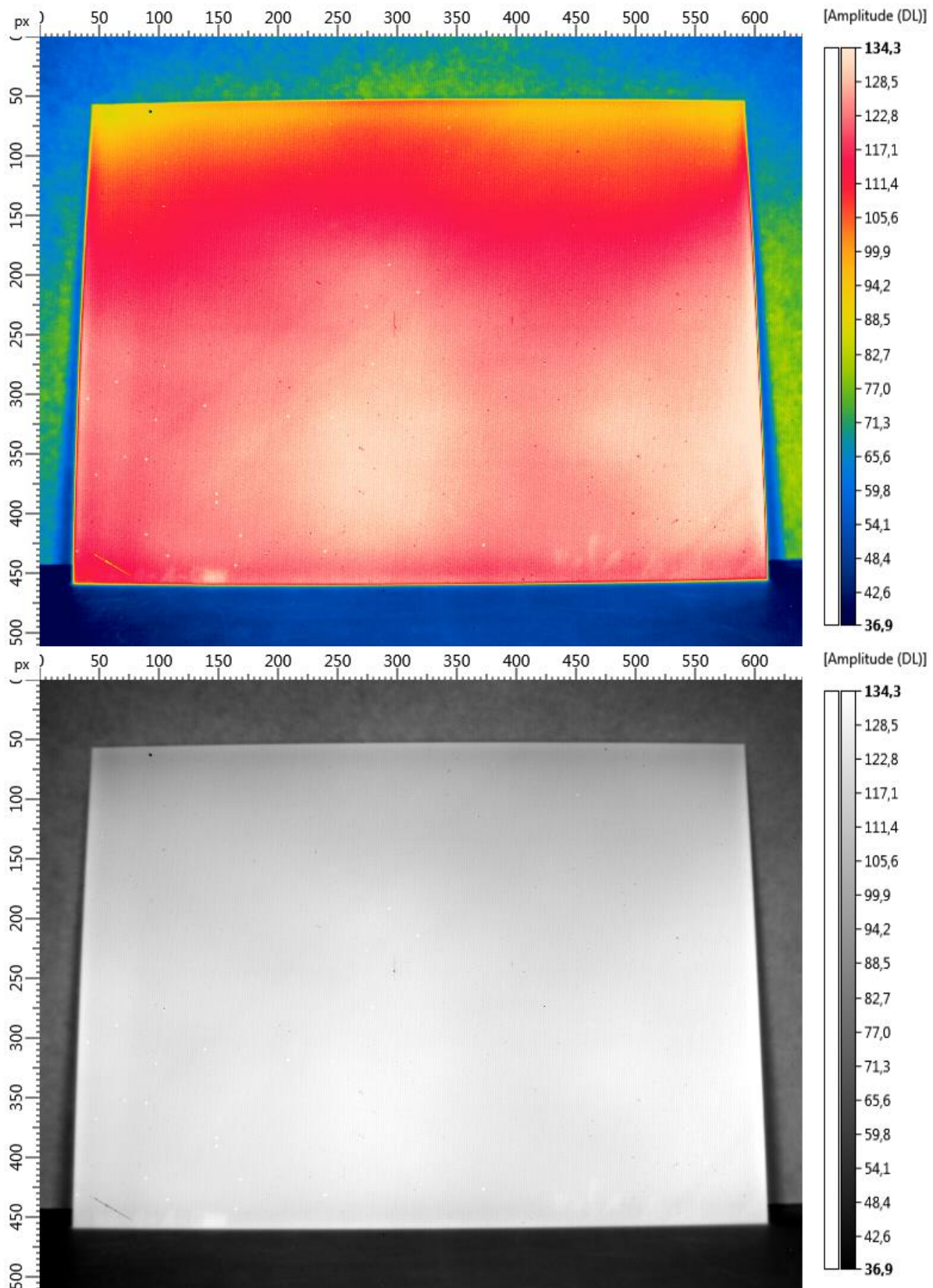


Abbildung 7: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala



#### 4.1.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm



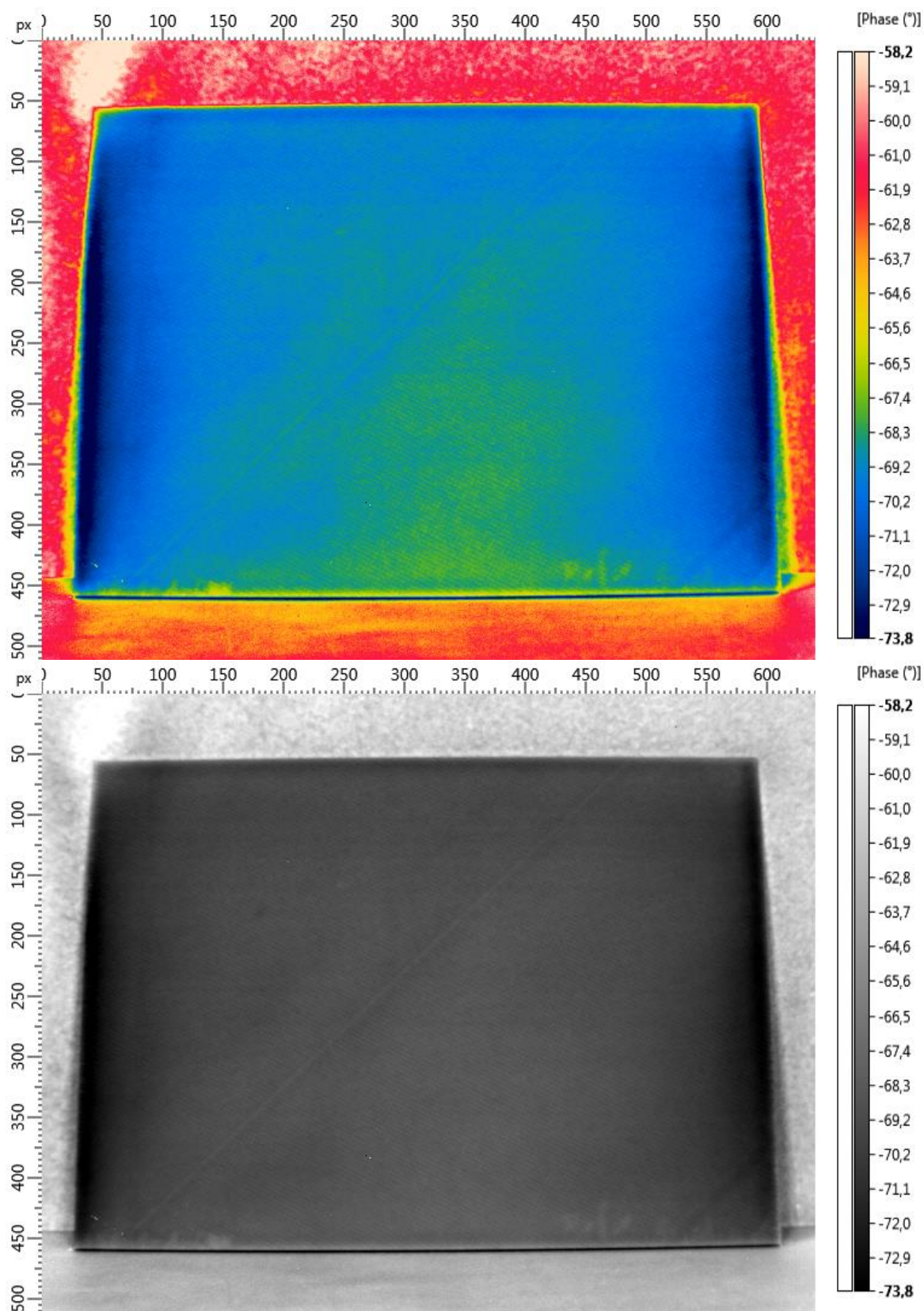
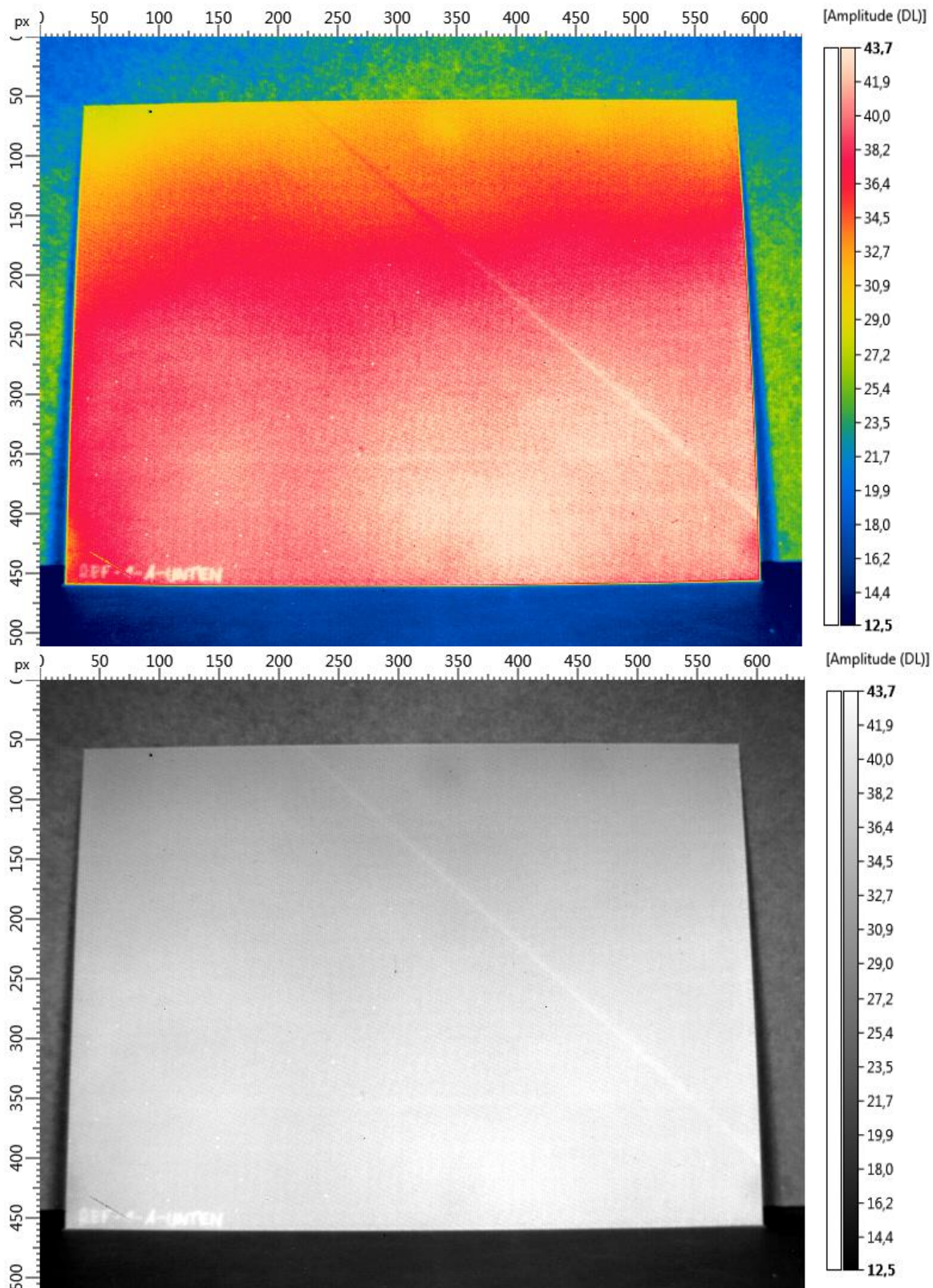


Abbildung 8: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala



## 4.1.2. Messungen von UNTEN

### 4.1.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





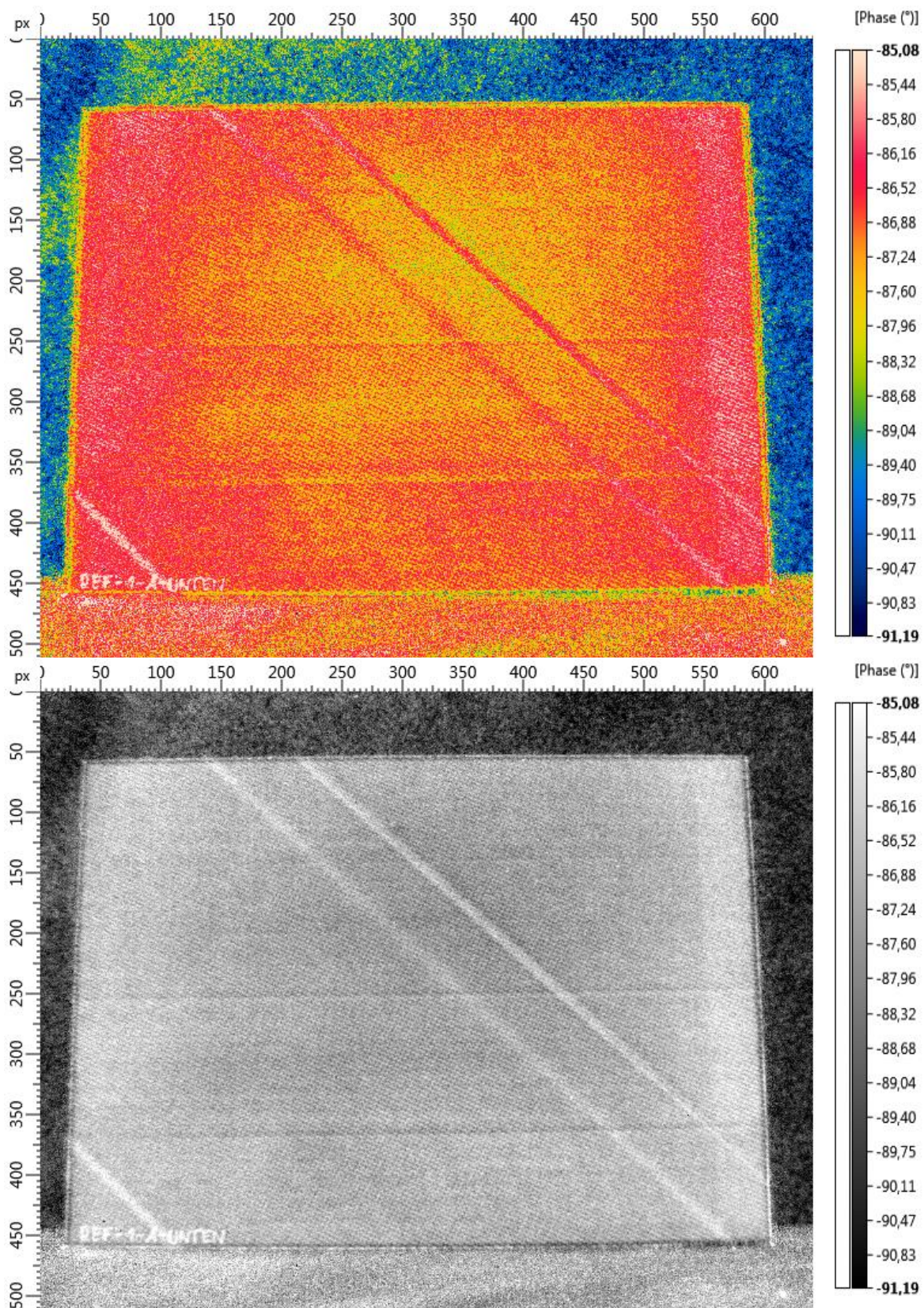
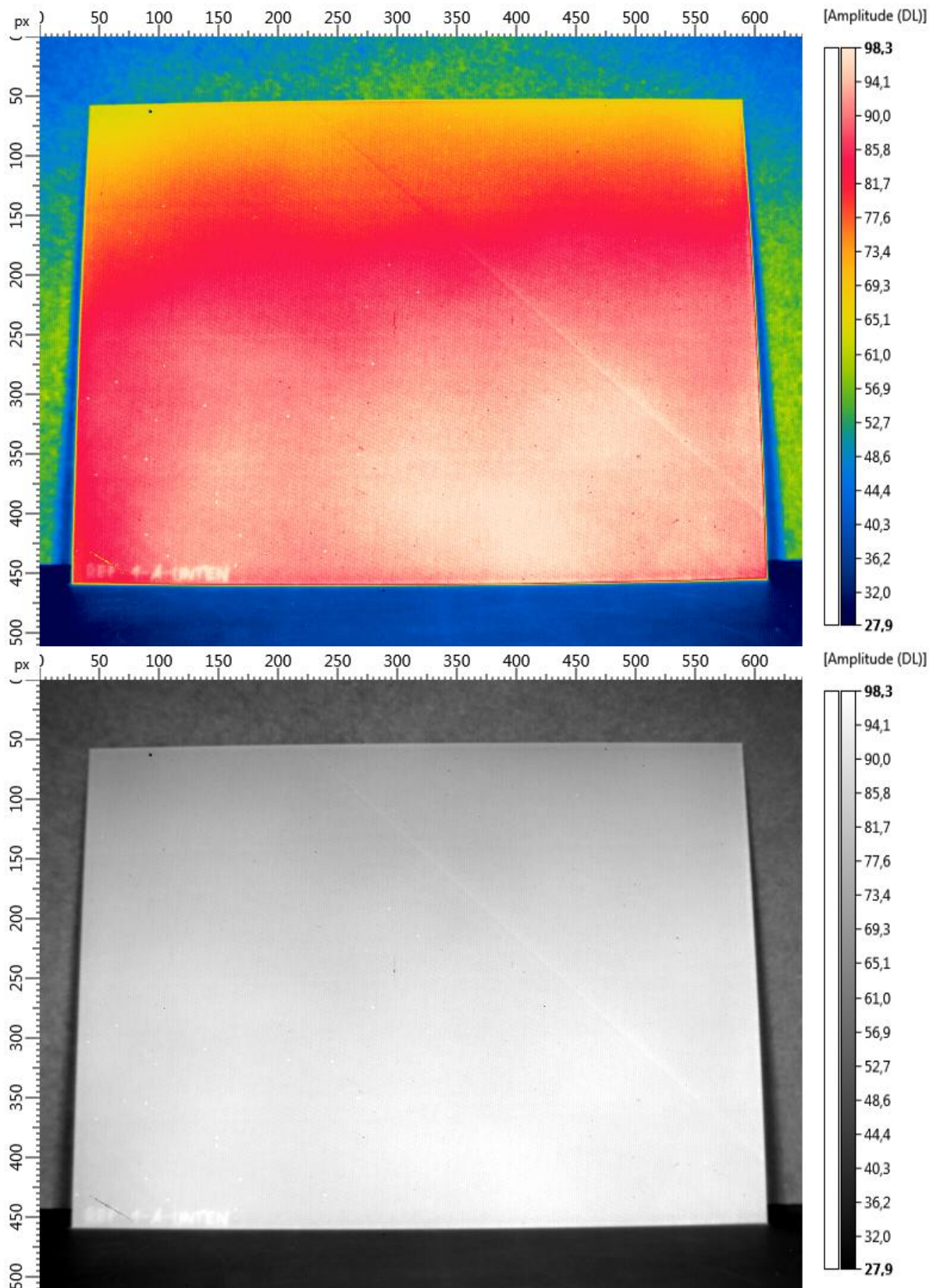


Abbildung 9: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,3\text{Hz} = 0,65\text{mm}$  in Rain und Grey Skala



#### 4.1.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





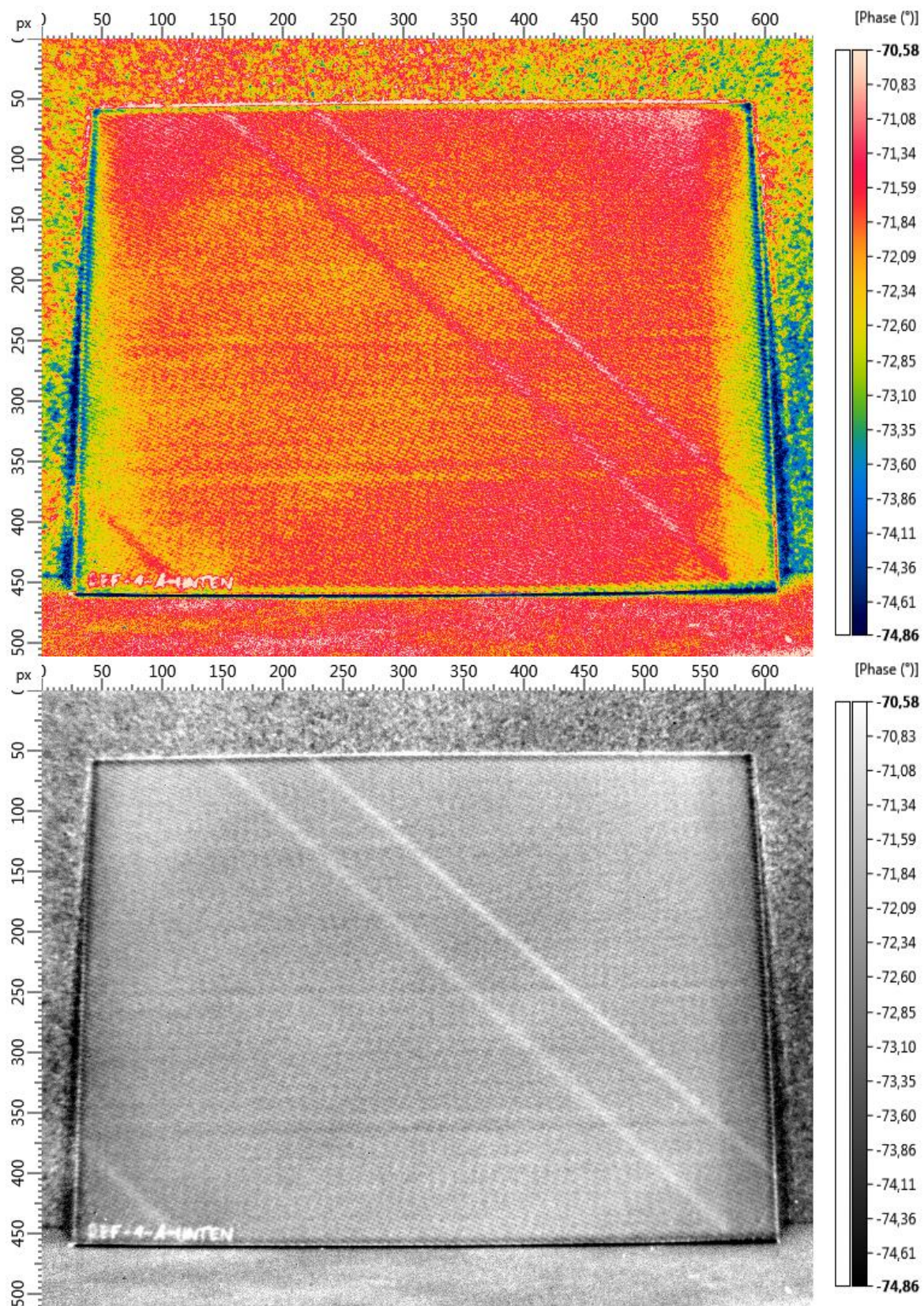
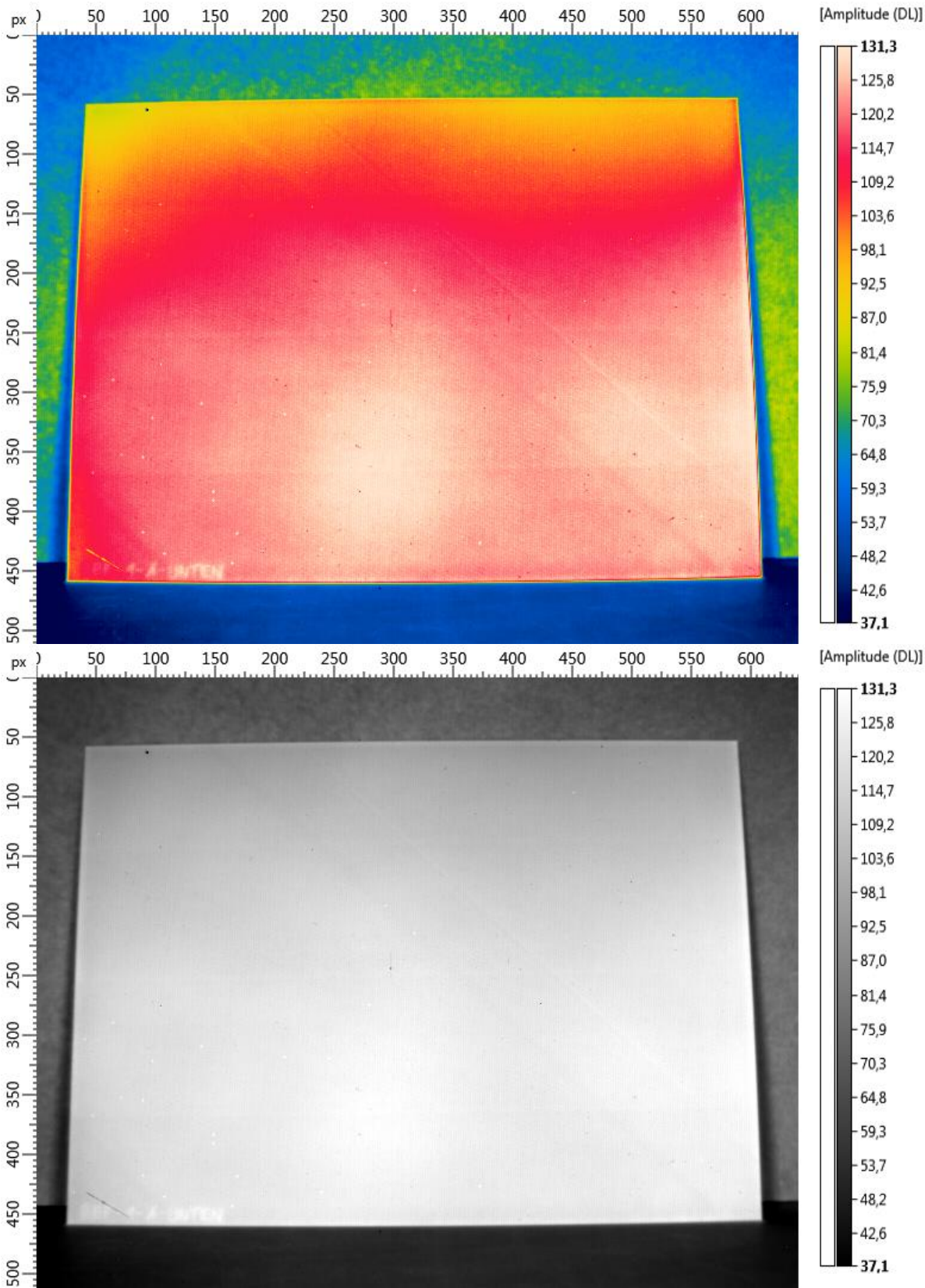


Abbildung 10: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,1\text{Hz} = 1,13\text{mm}$  in Rain und Grey Skala



4.1.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm



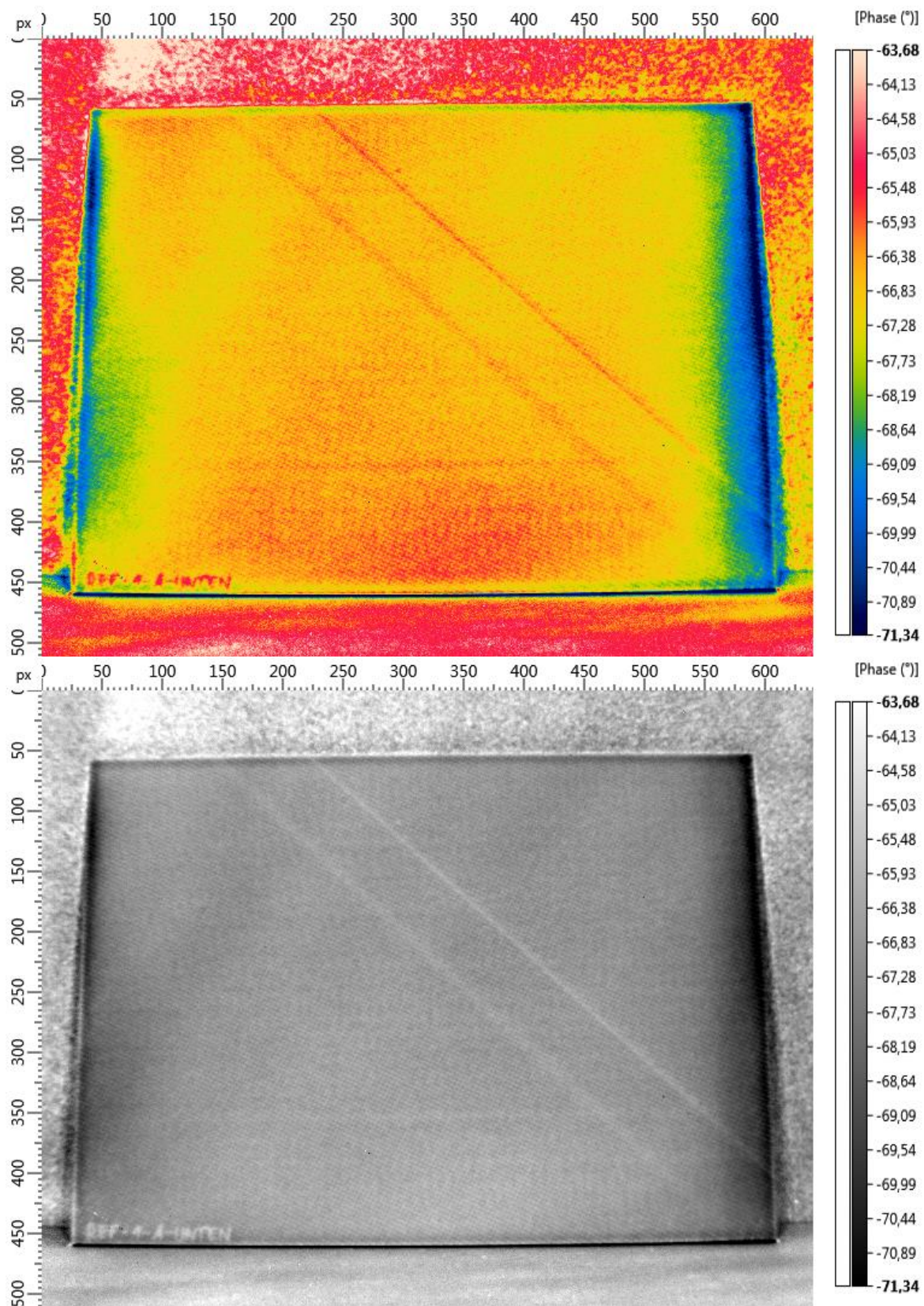
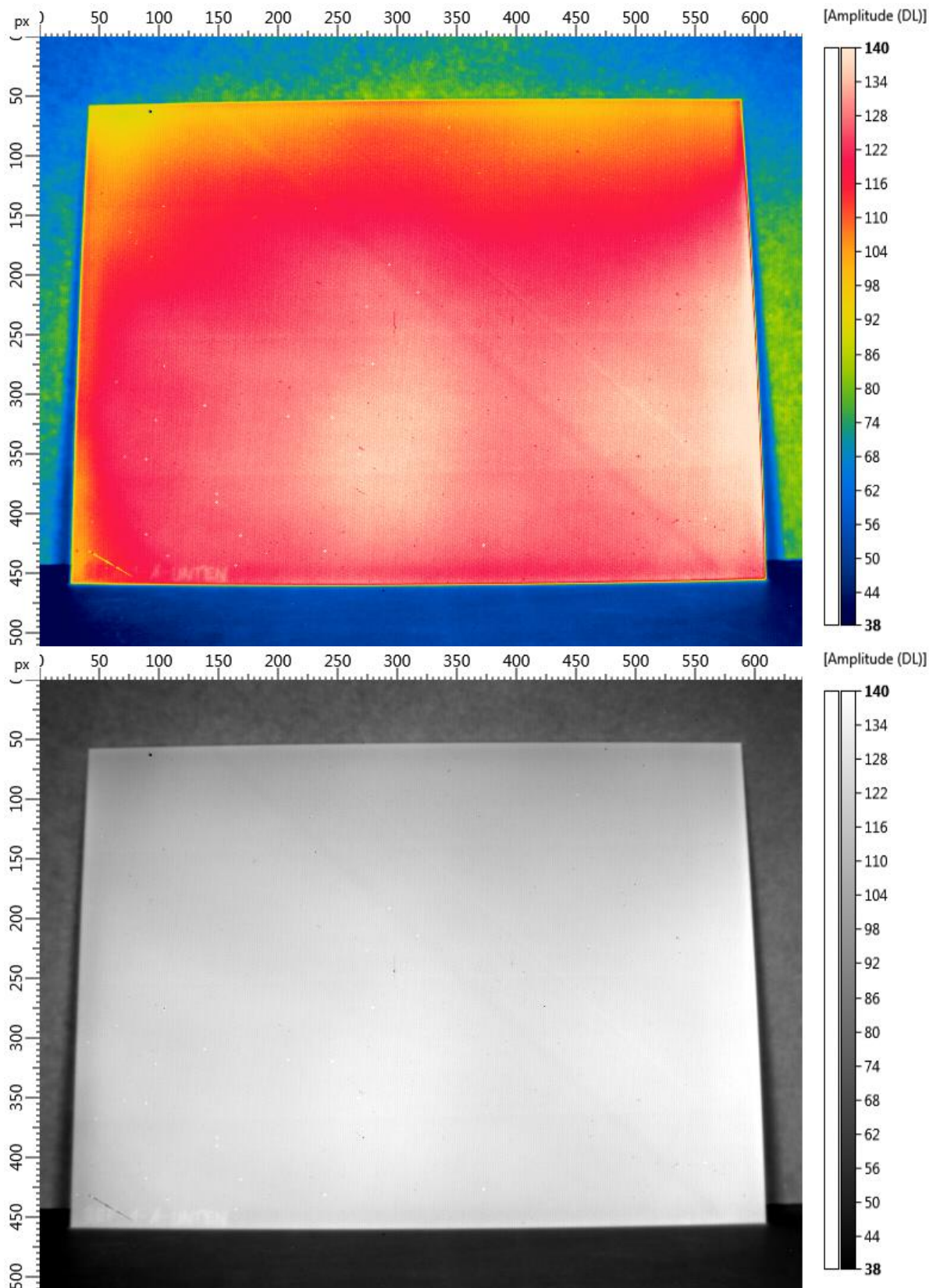


Abbildung 11: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala



#### 4.1.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm



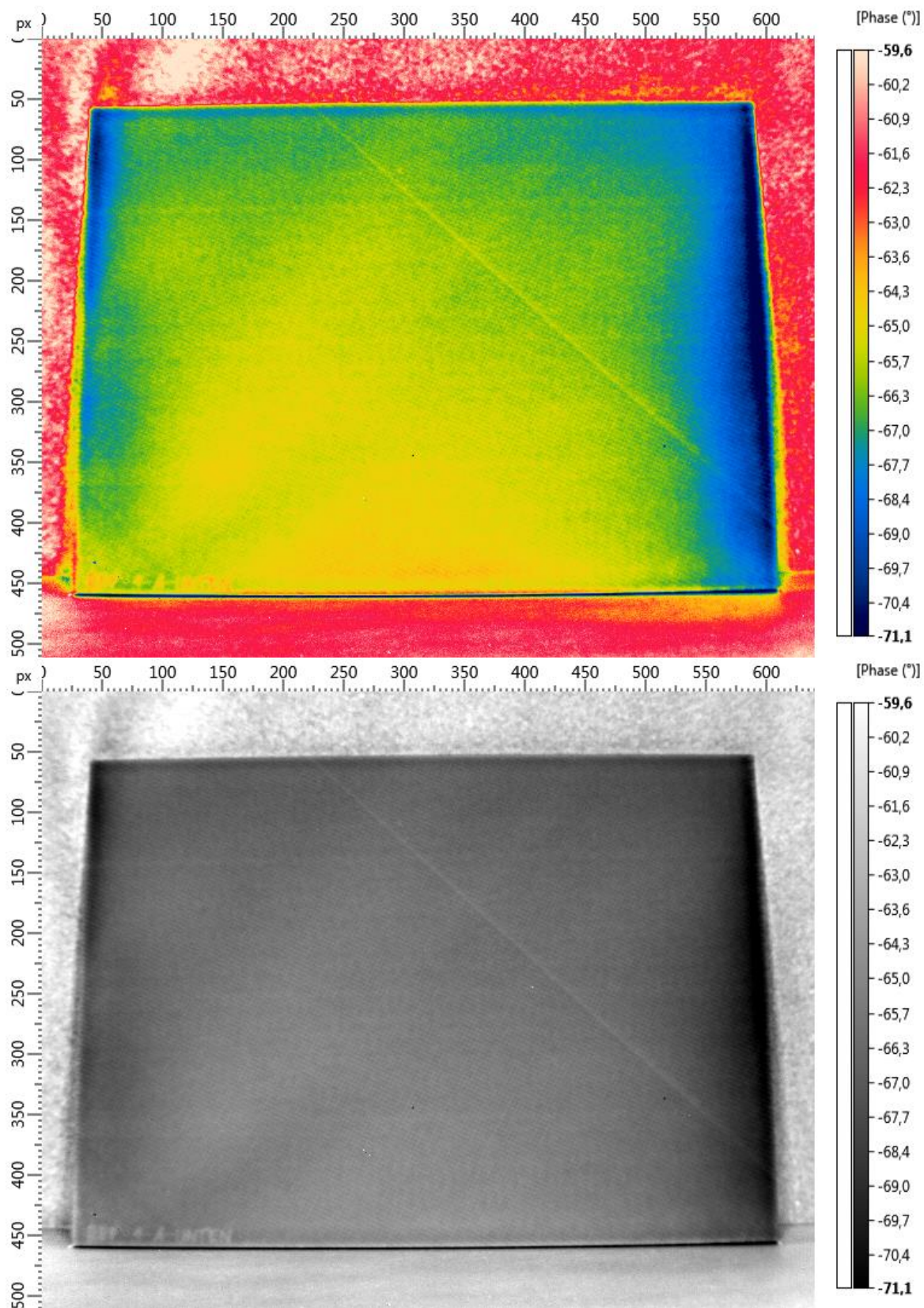
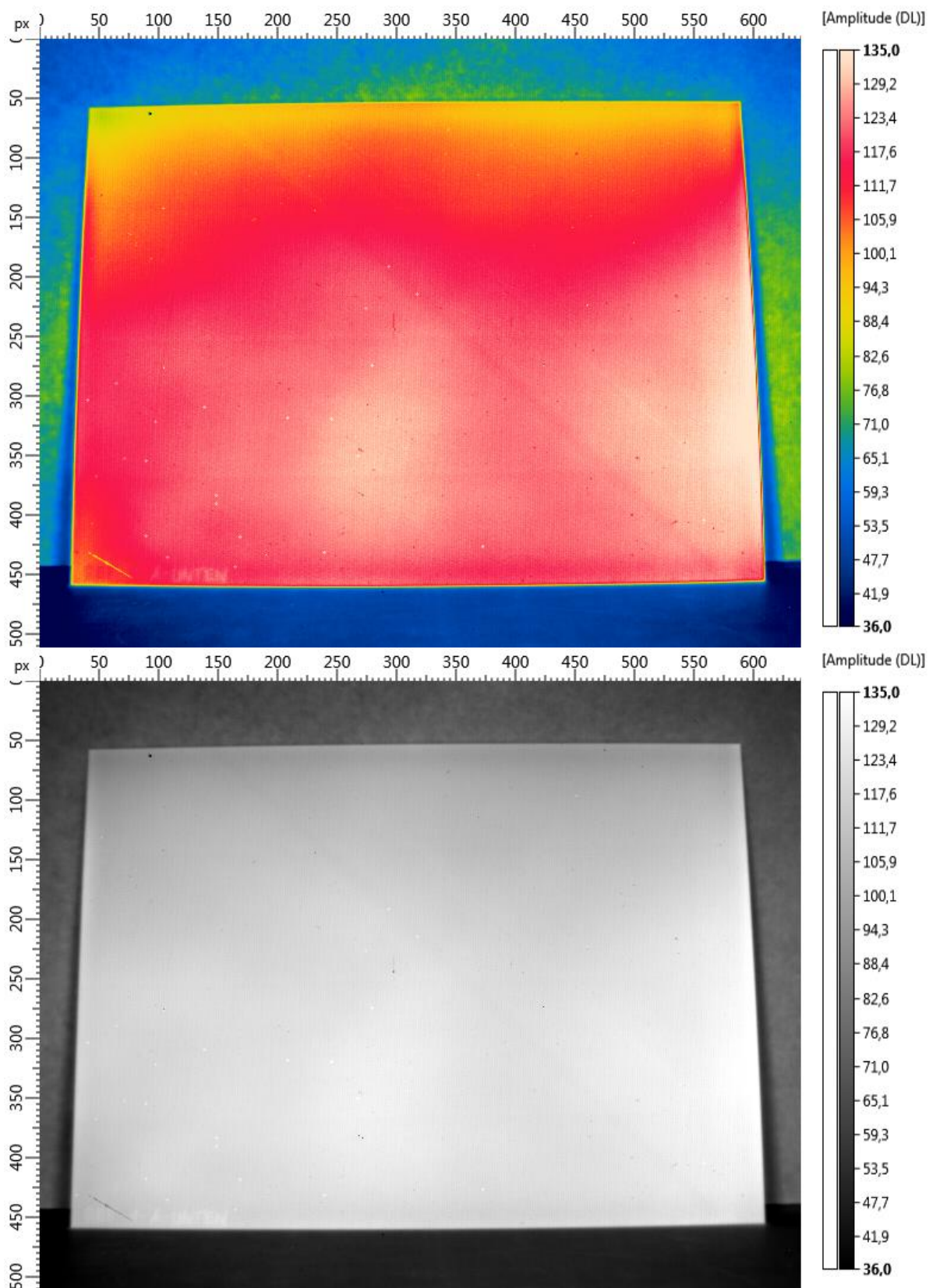


Abbildung 12: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala



#### 4.1.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm



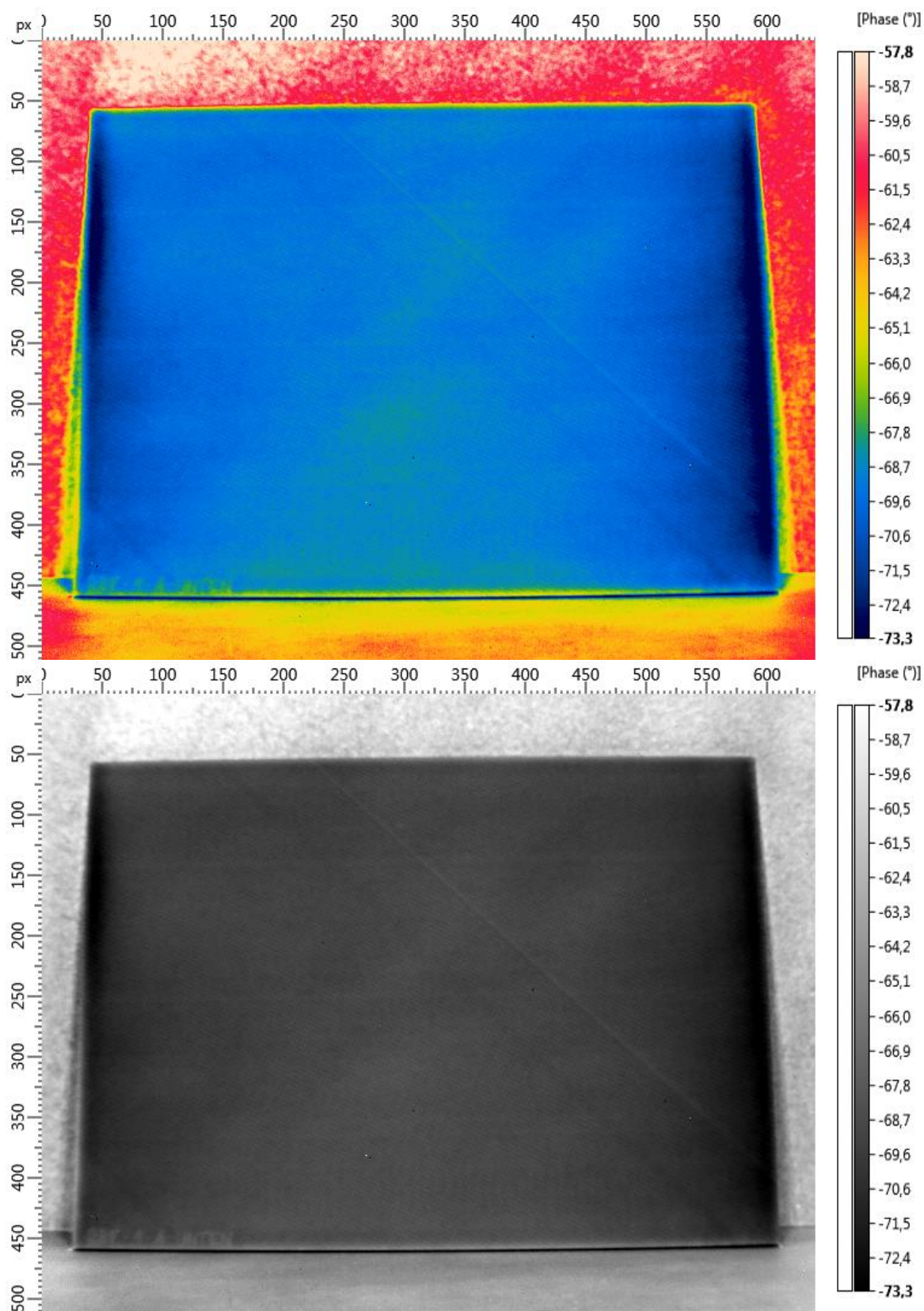


Abbildung 13: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.1.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der linken Seite ein ca. 46 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 40 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 40 mm auf der rechten Seite erkennbar. Ebenso ist Oben und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei der Messung mit 0,05 Hz bei ca. 1,60 mm Eindringtiefe zeigt sich dieser Streifen am deutlichsten was darauf schließen lässt das die Folie in die Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



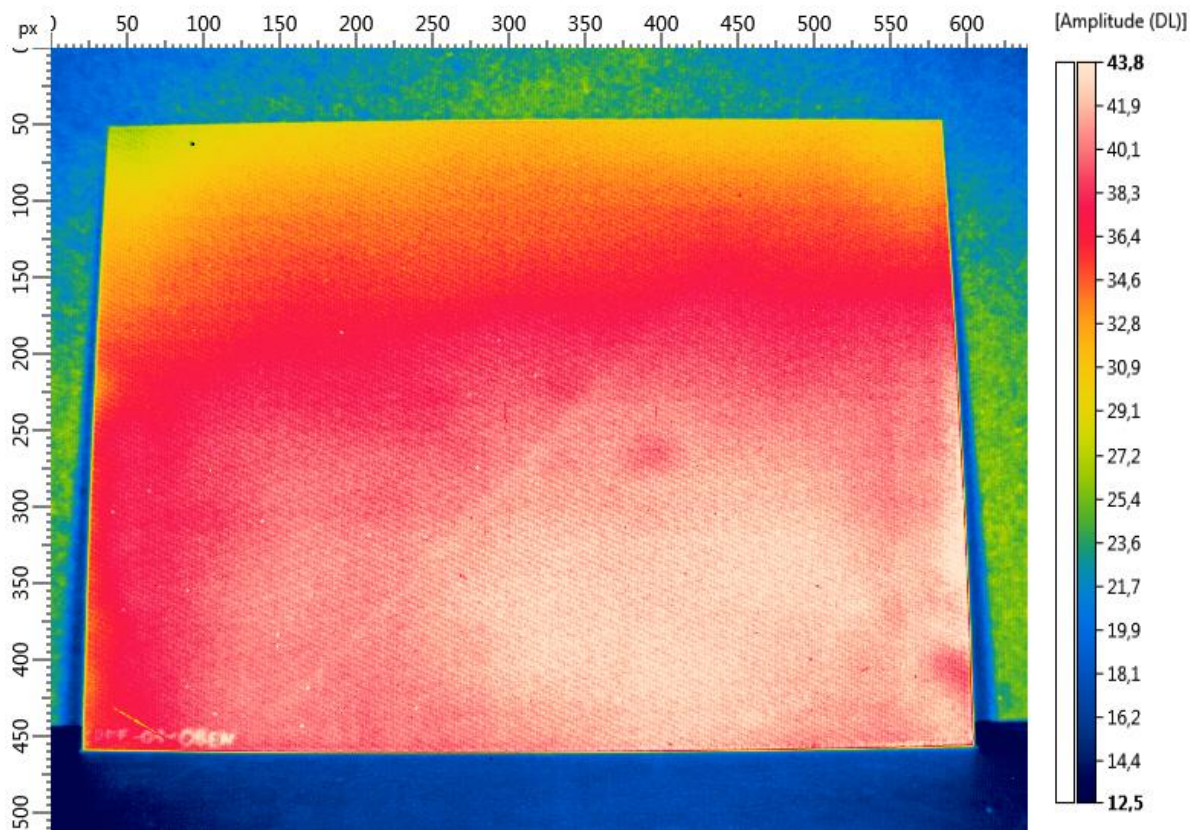
## 4.2. REF-01

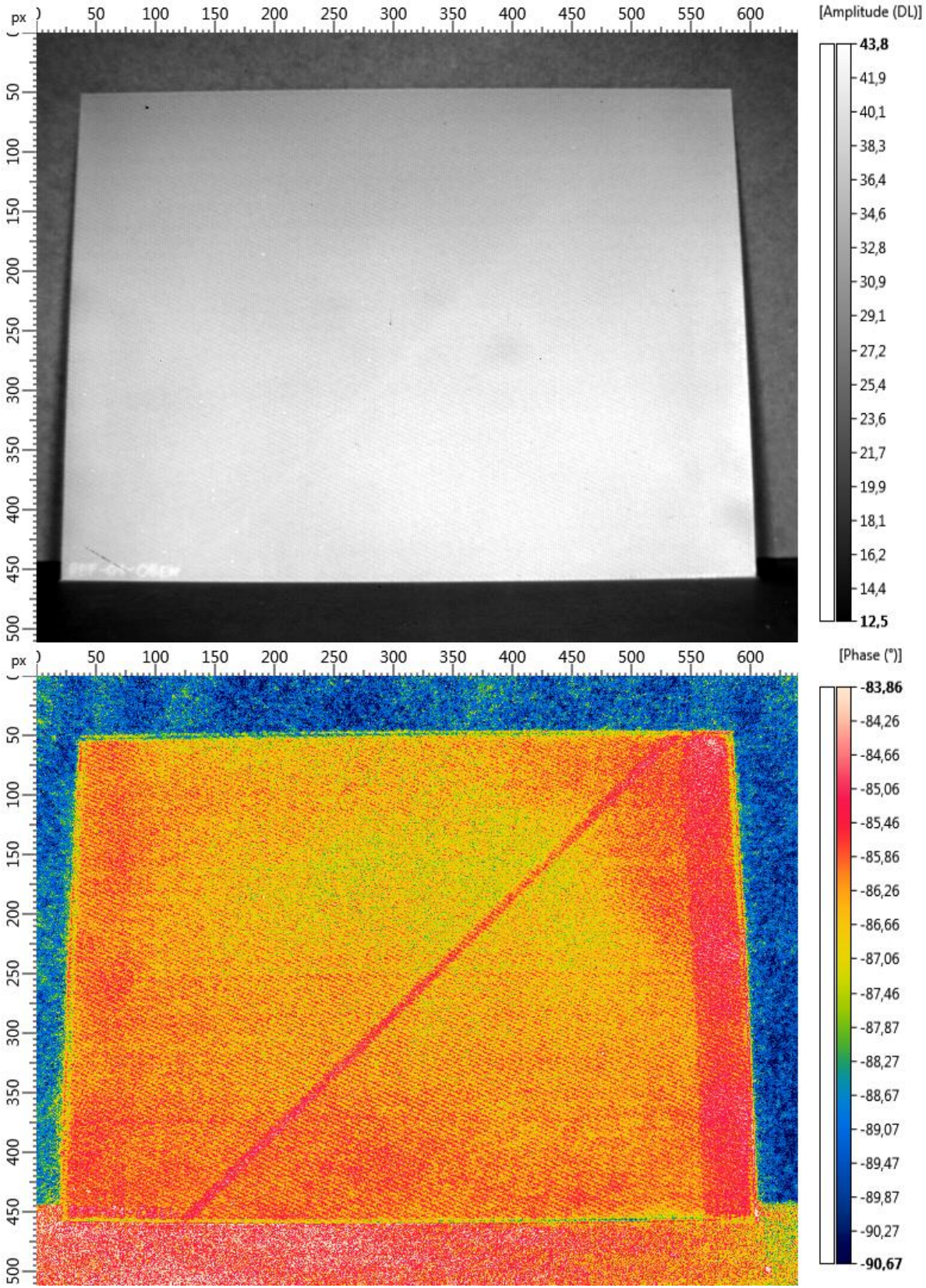
Tabelle 2: Dickenmessung REF-01

3,3 mm	3,2 mm
3,3 mm	3,2 mm

### 4.2.1. Messung von OBEN

#### 4.2.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







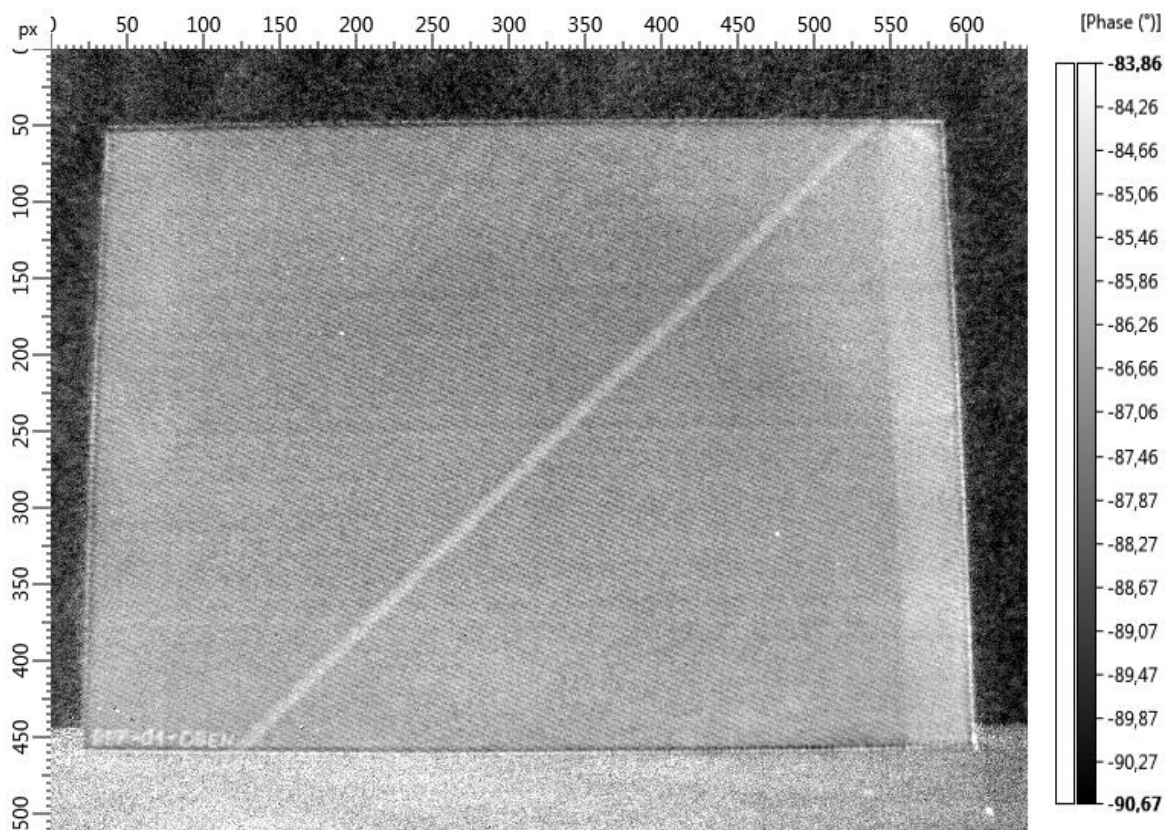
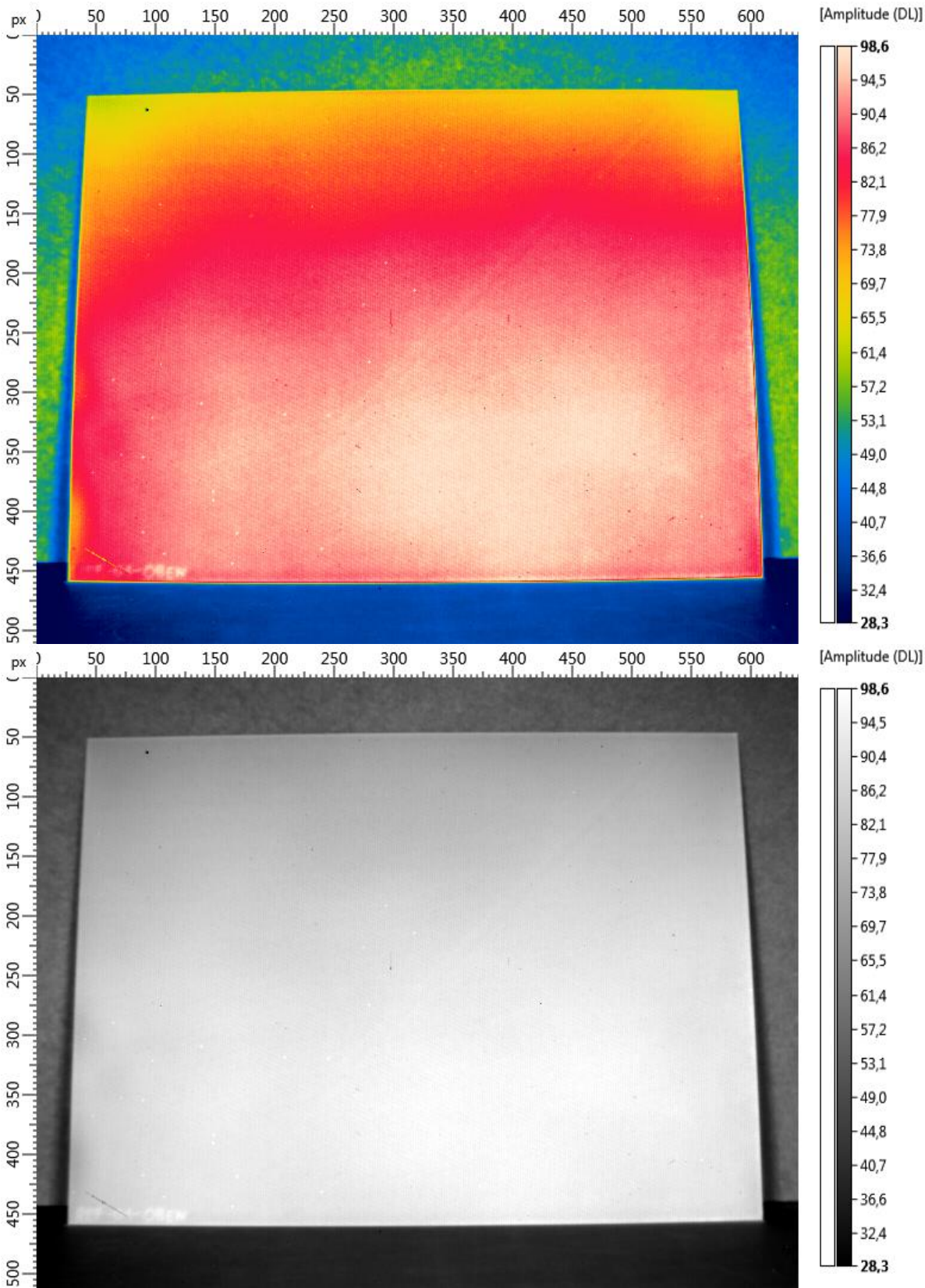


Abbildung 14: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.2.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





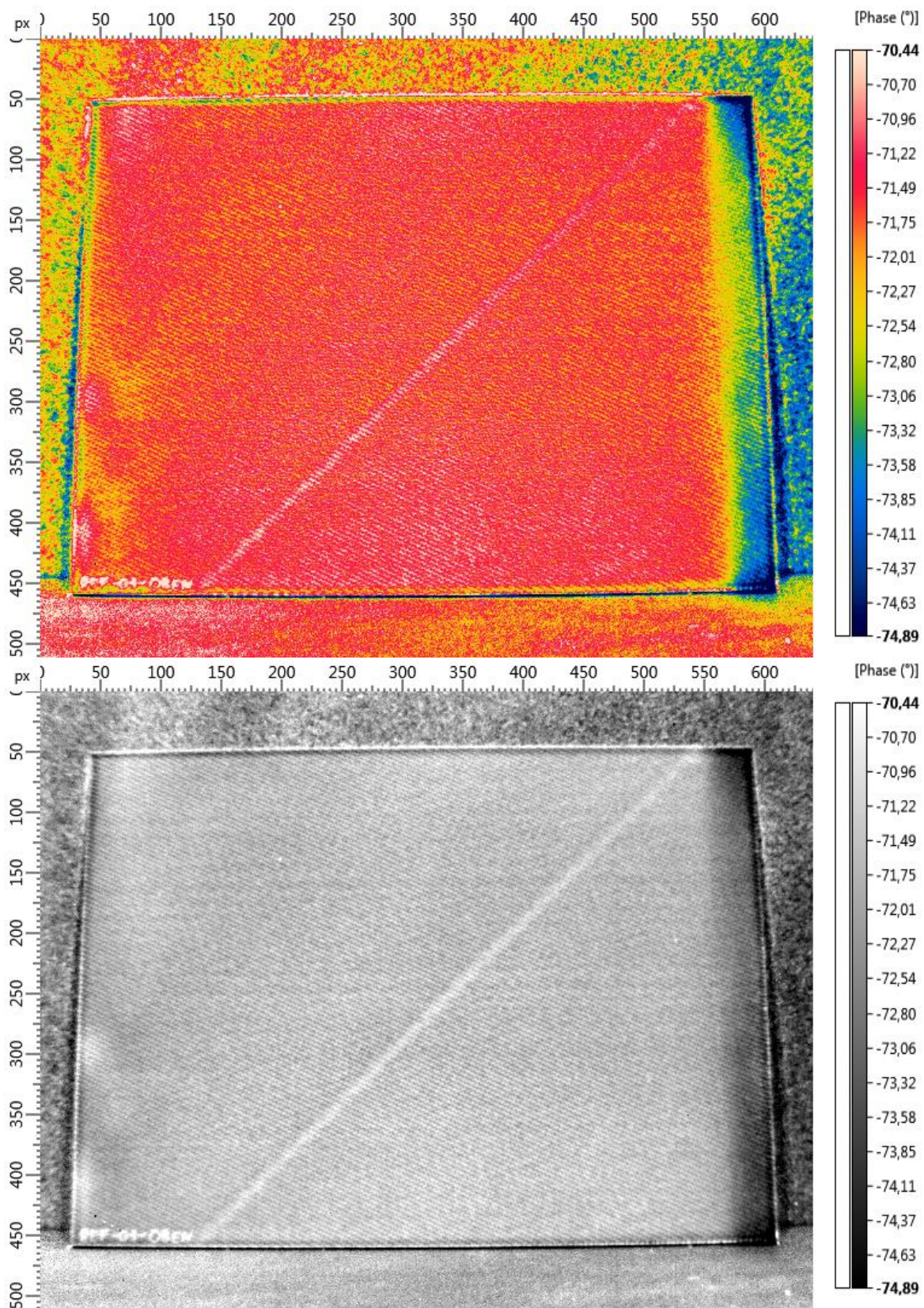
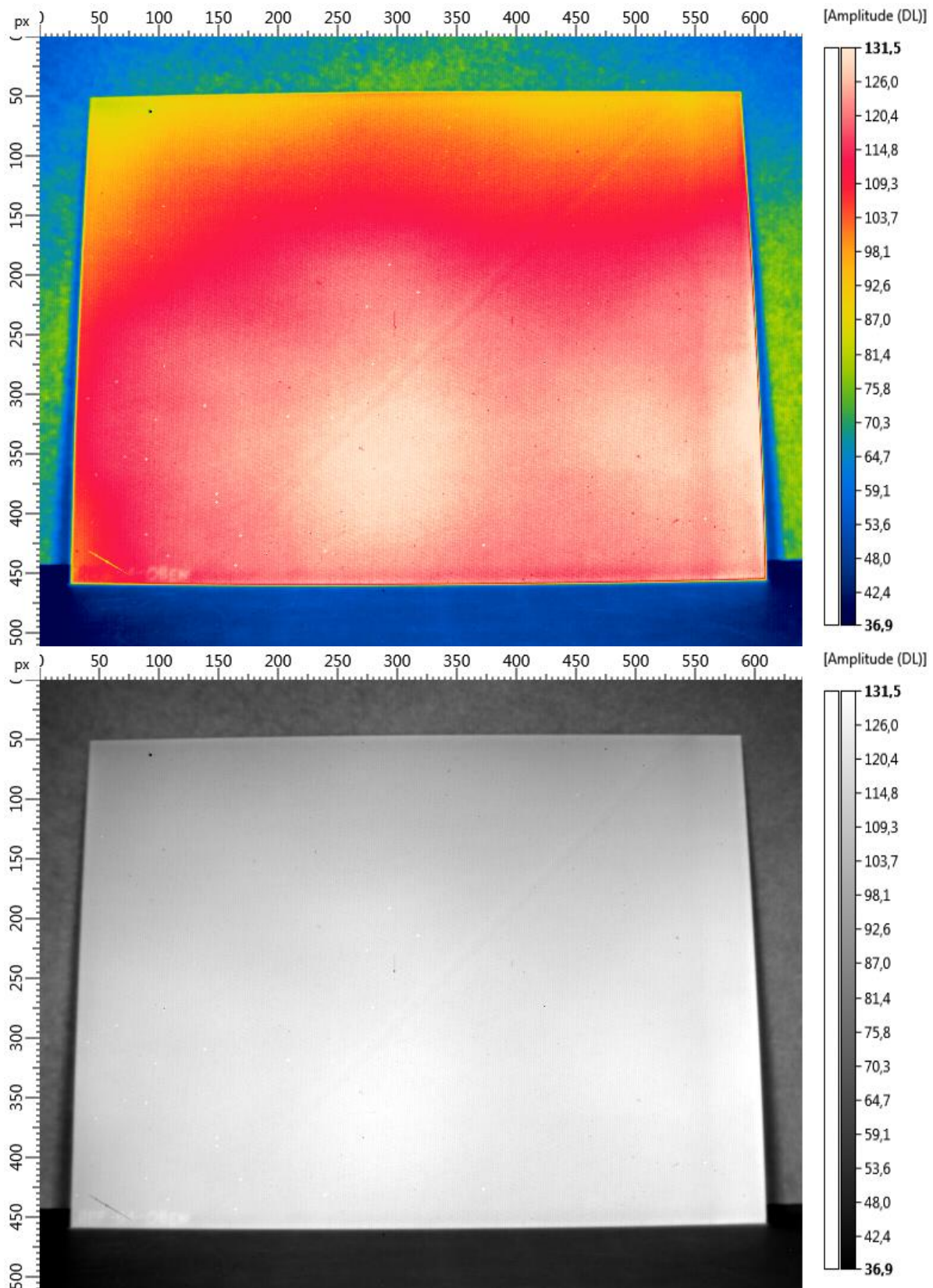


Abbildung 15: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



#### 4.2.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm



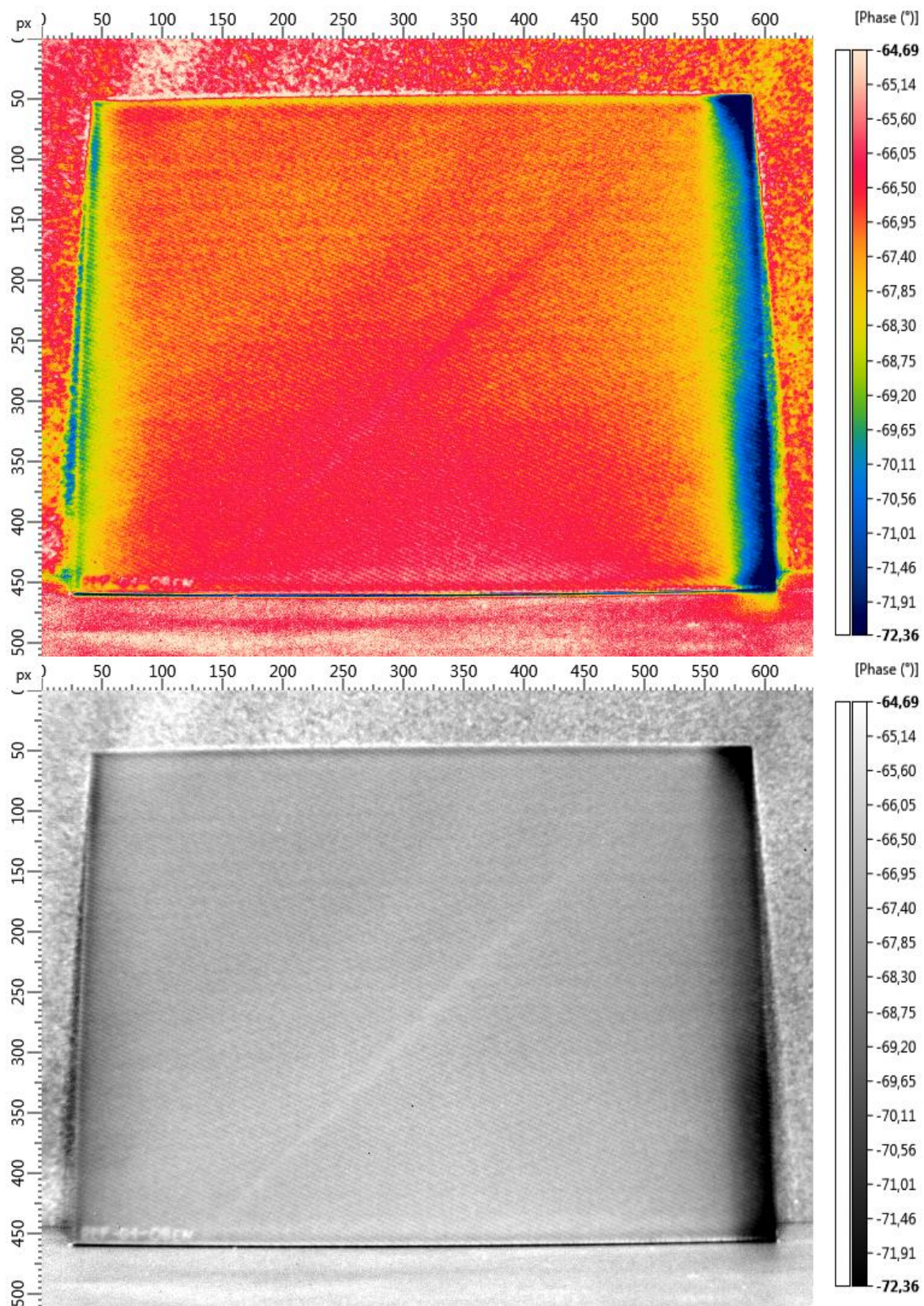
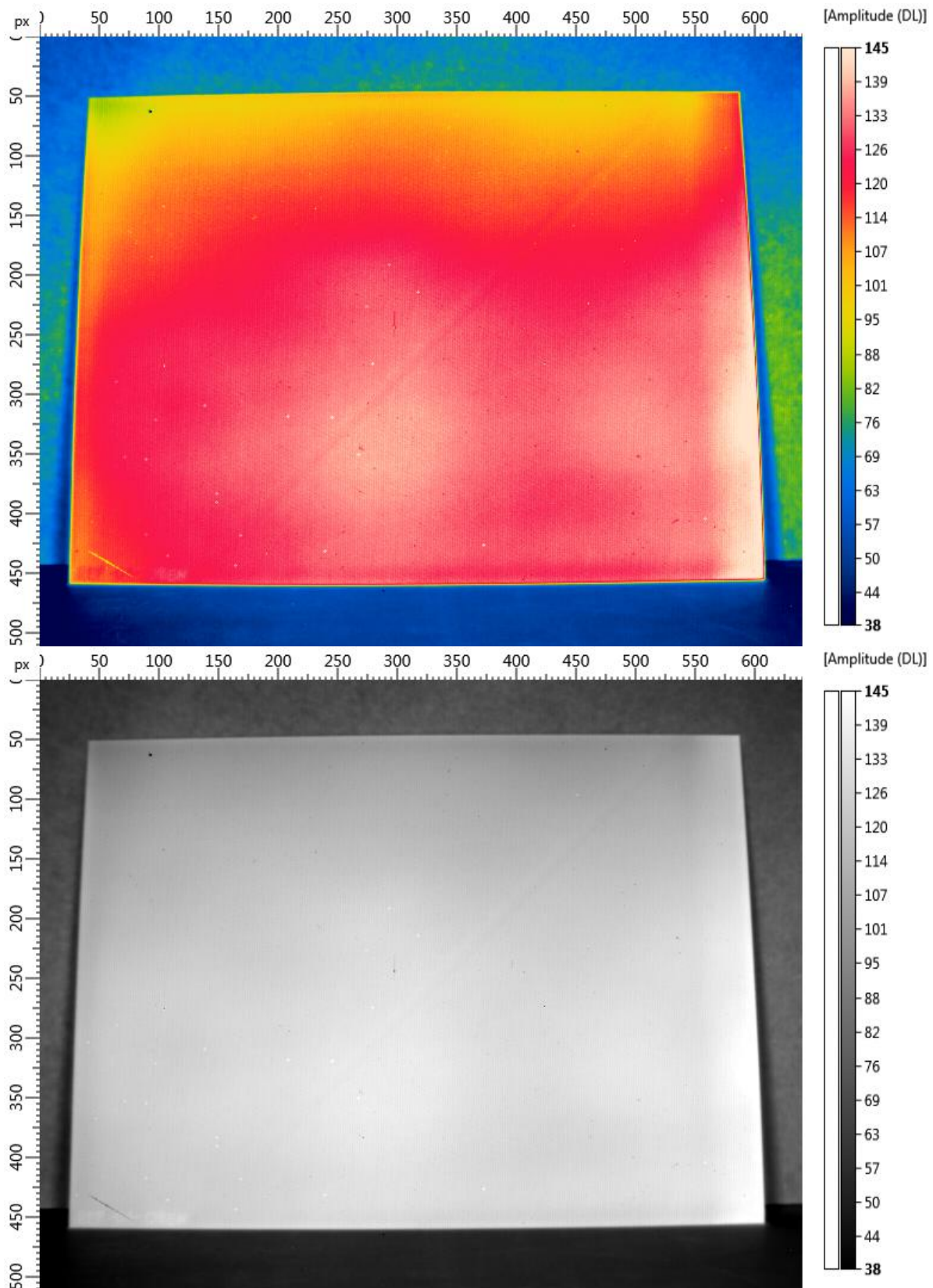


Abbildung 16: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala



#### 4.2.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm



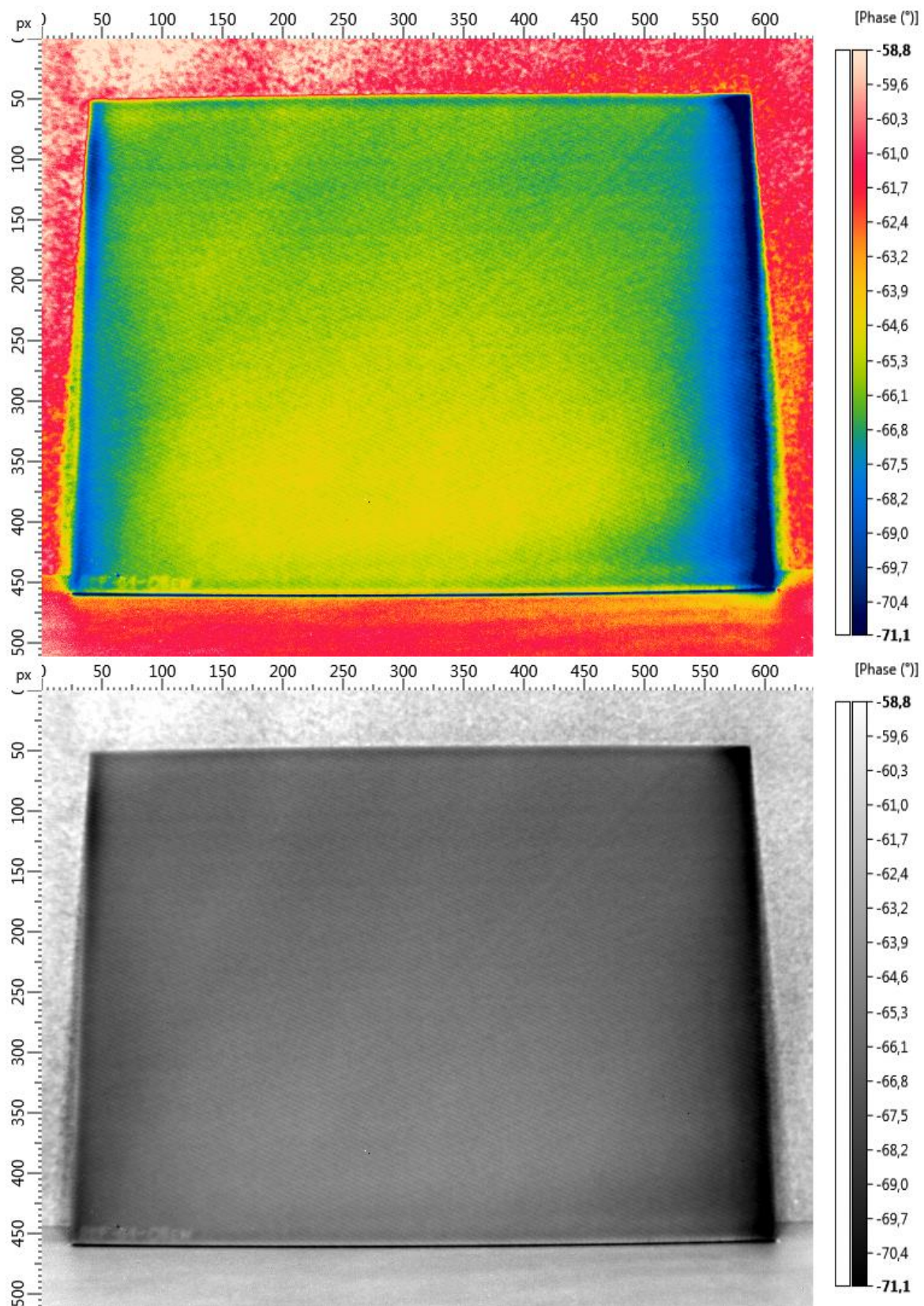
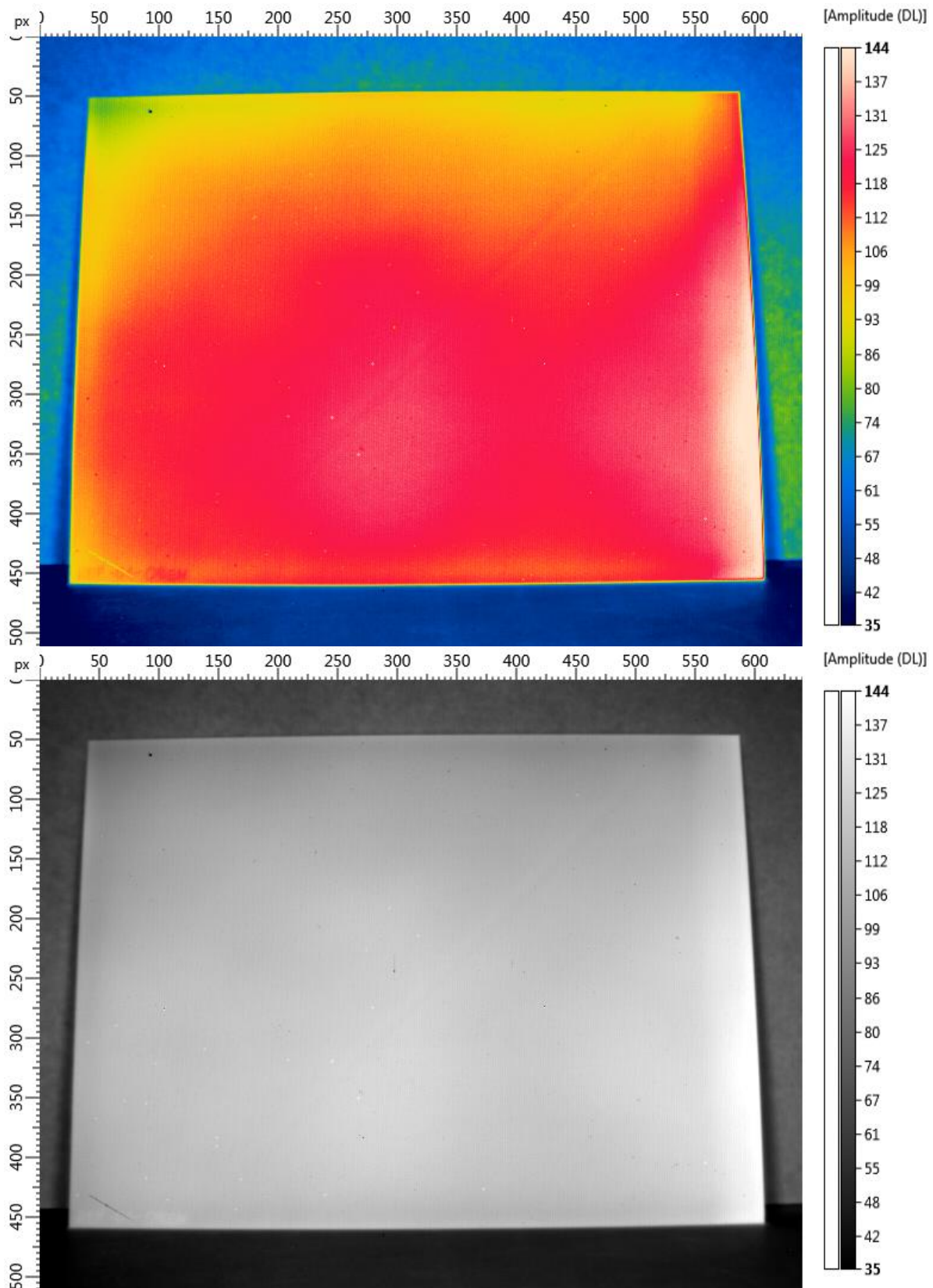


Abbildung 17: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala



#### 4.2.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





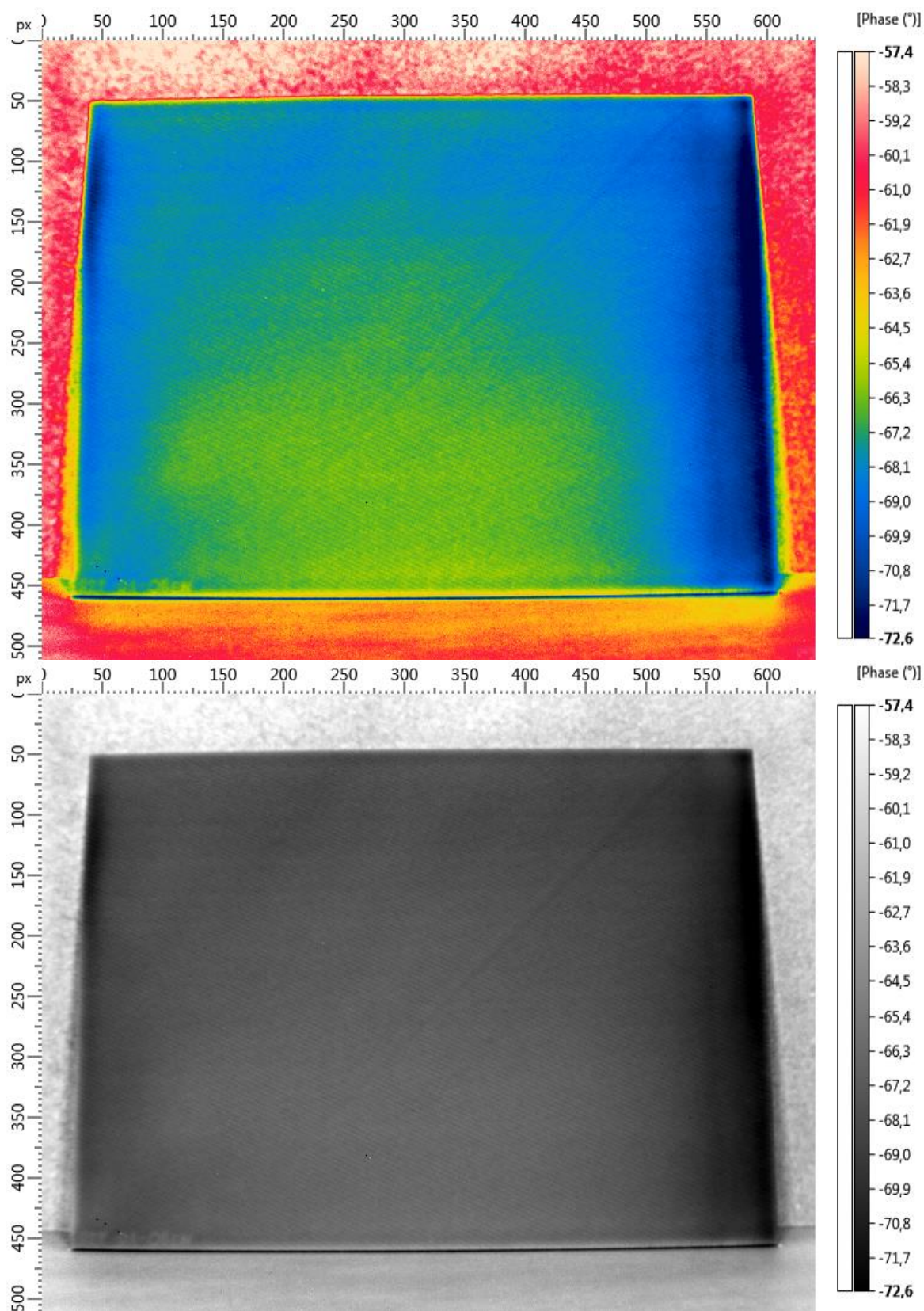
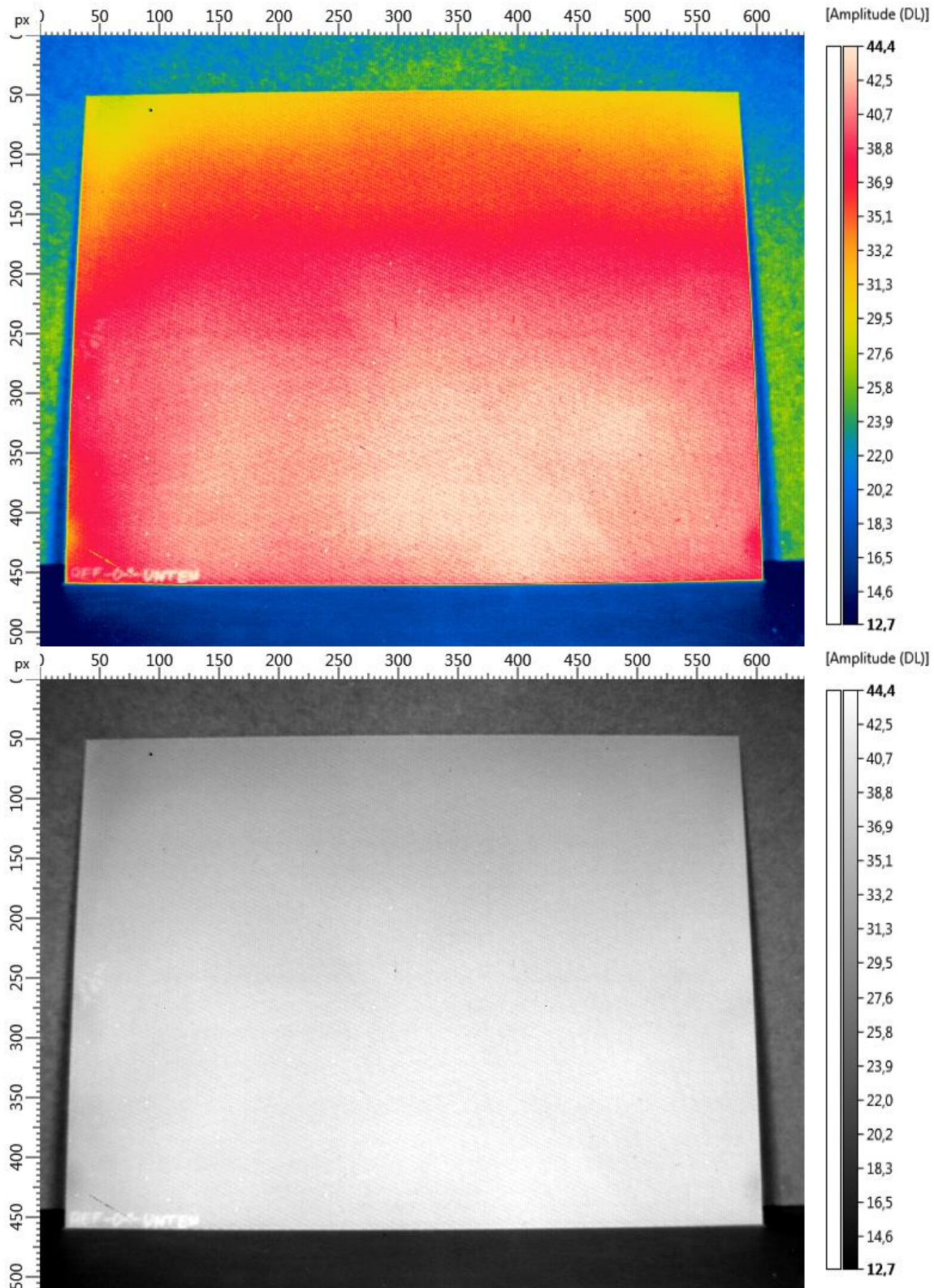


Abbildung 18: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52 mm in Rain und Grey Skala

## 4.2.2. Messungen von UNTEN

### 4.2.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





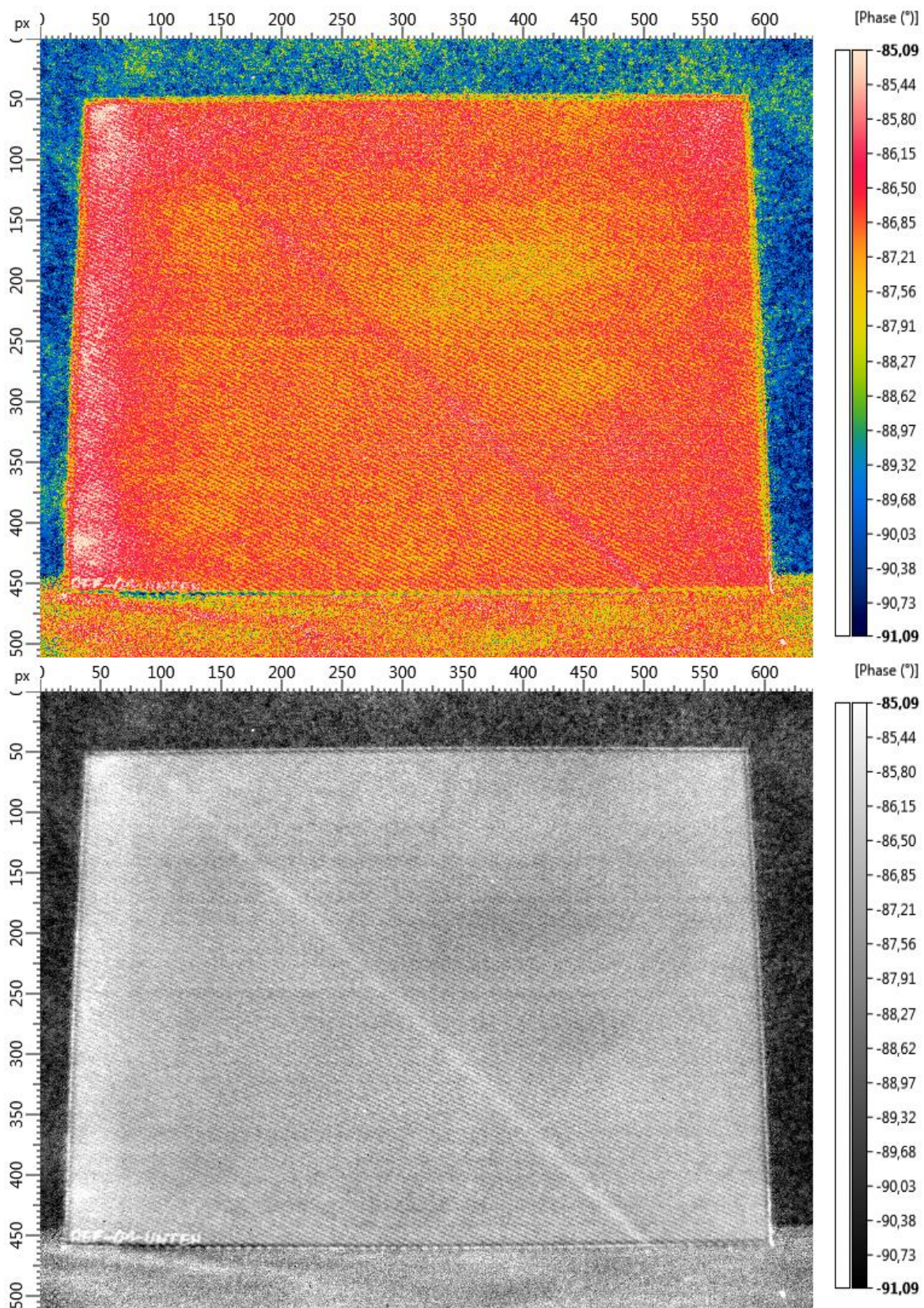
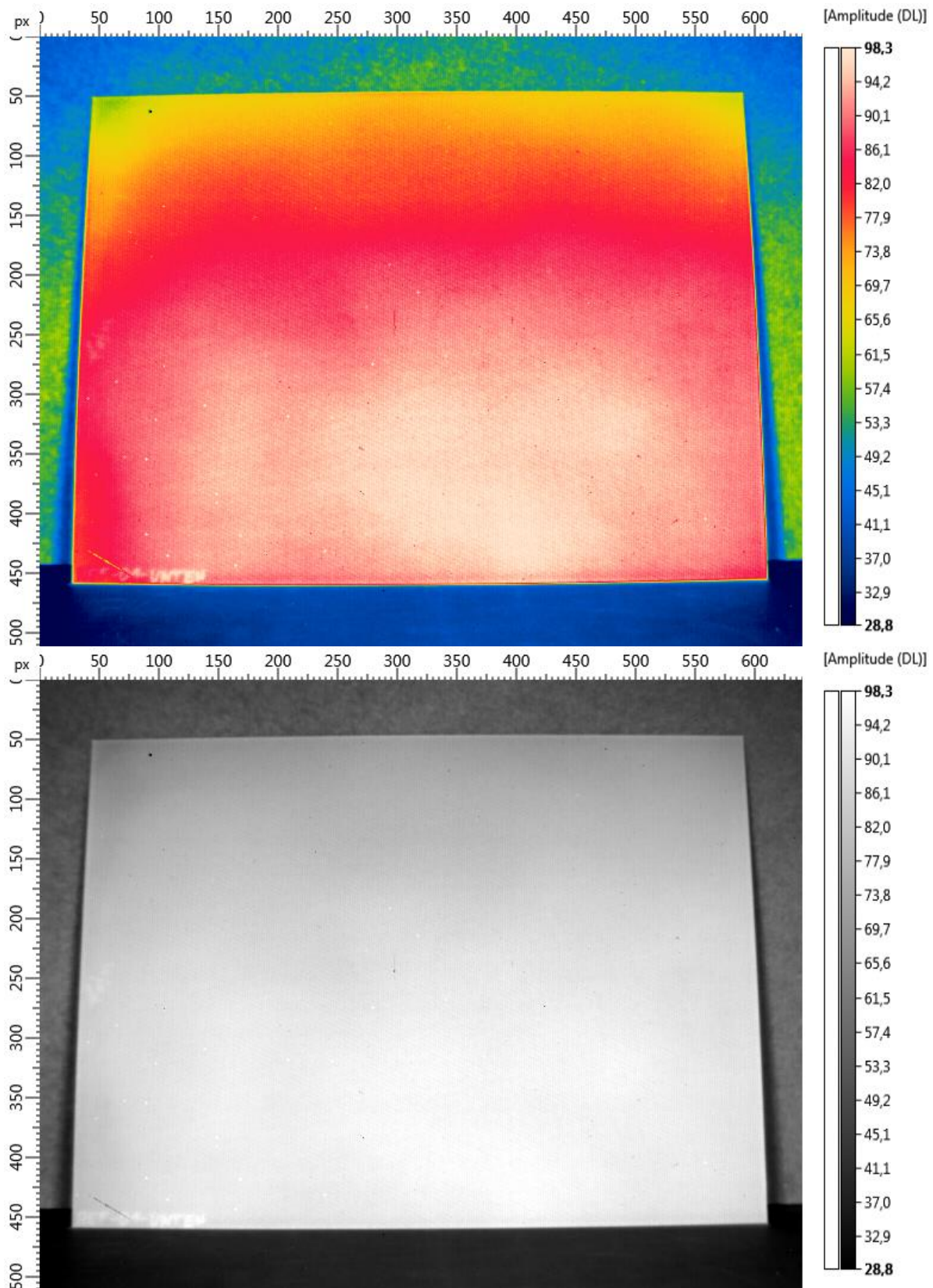


Abbildung 19: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



#### 4.2.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





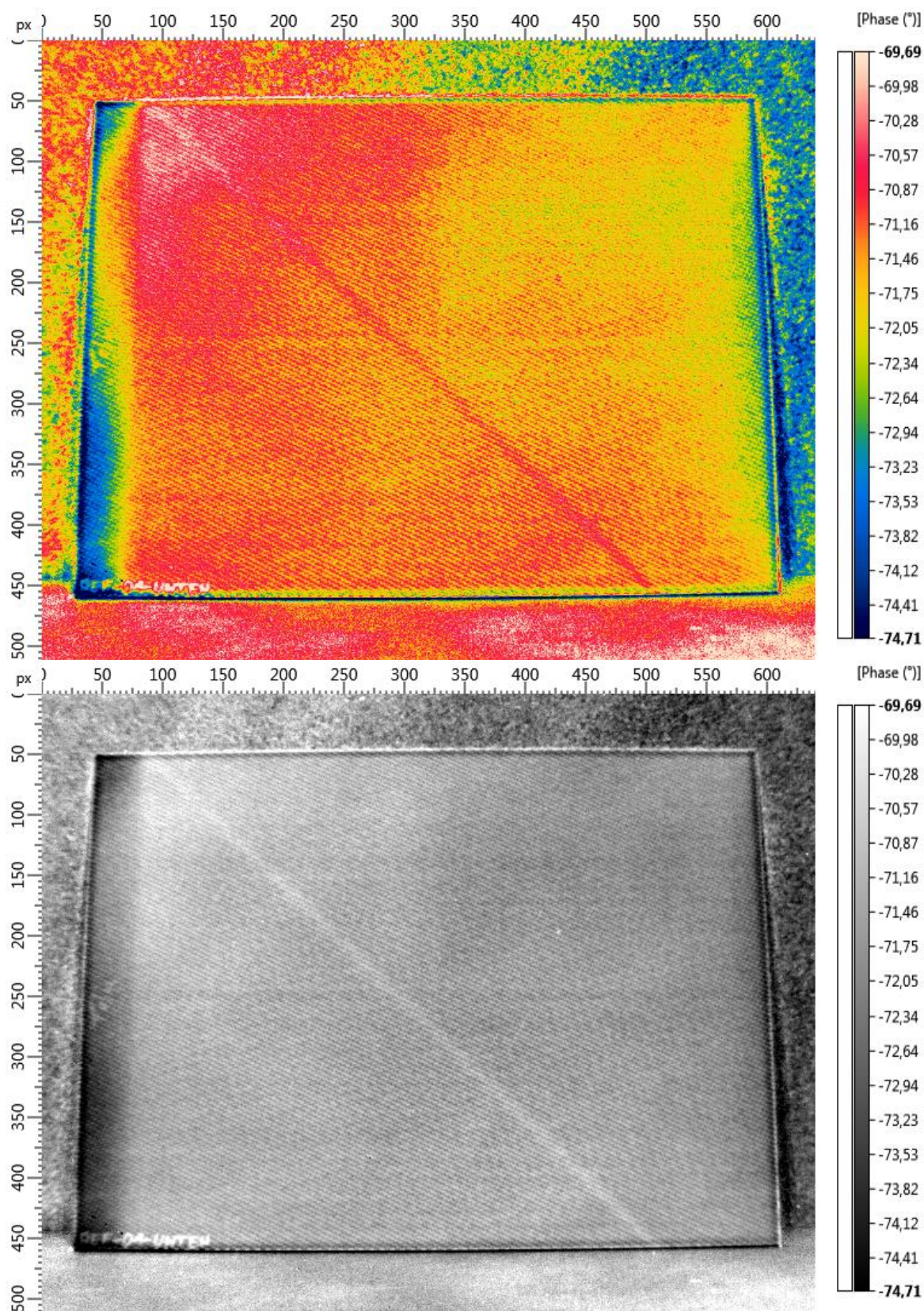
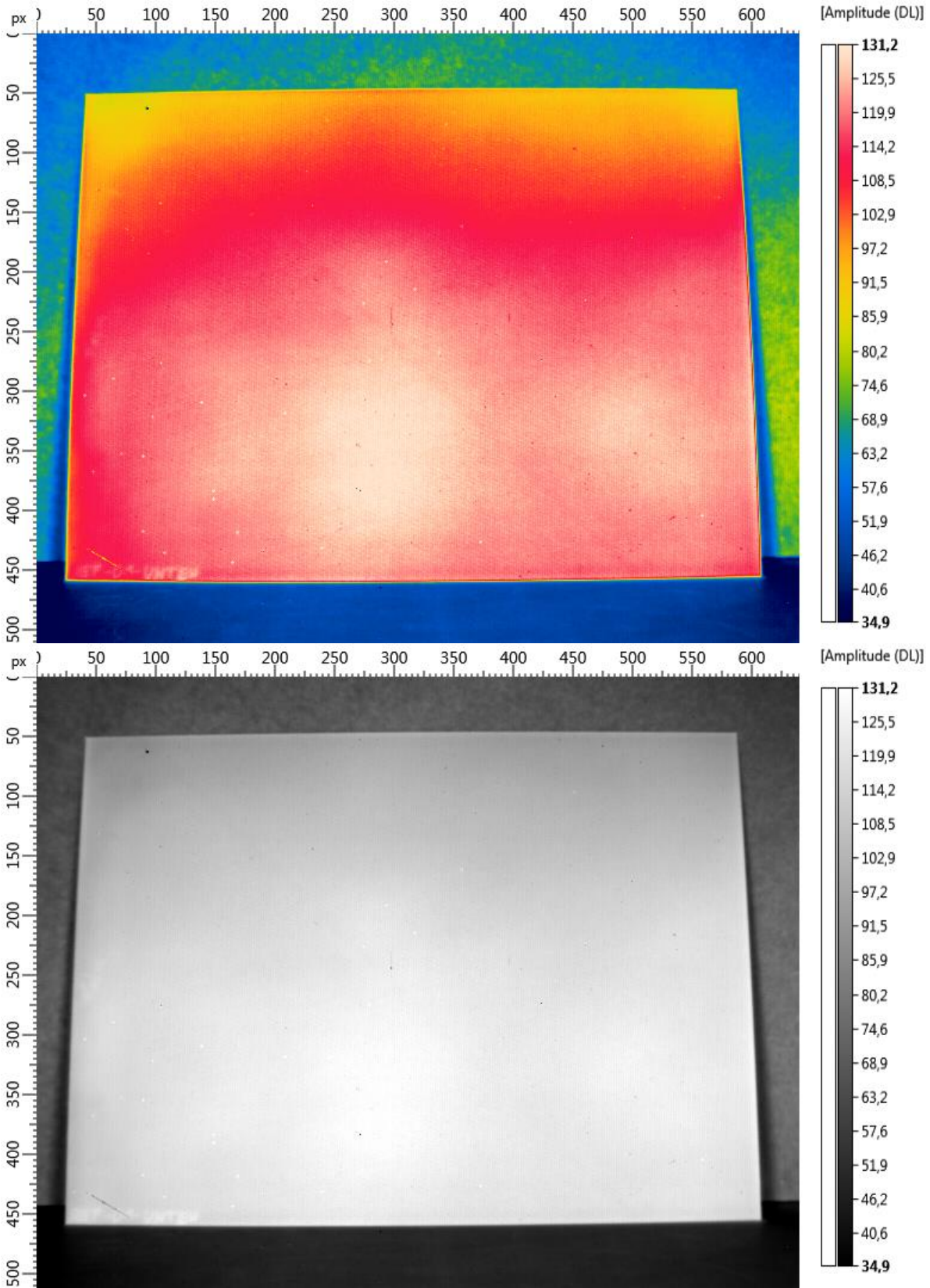


Abbildung 20: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



**4.2.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm**





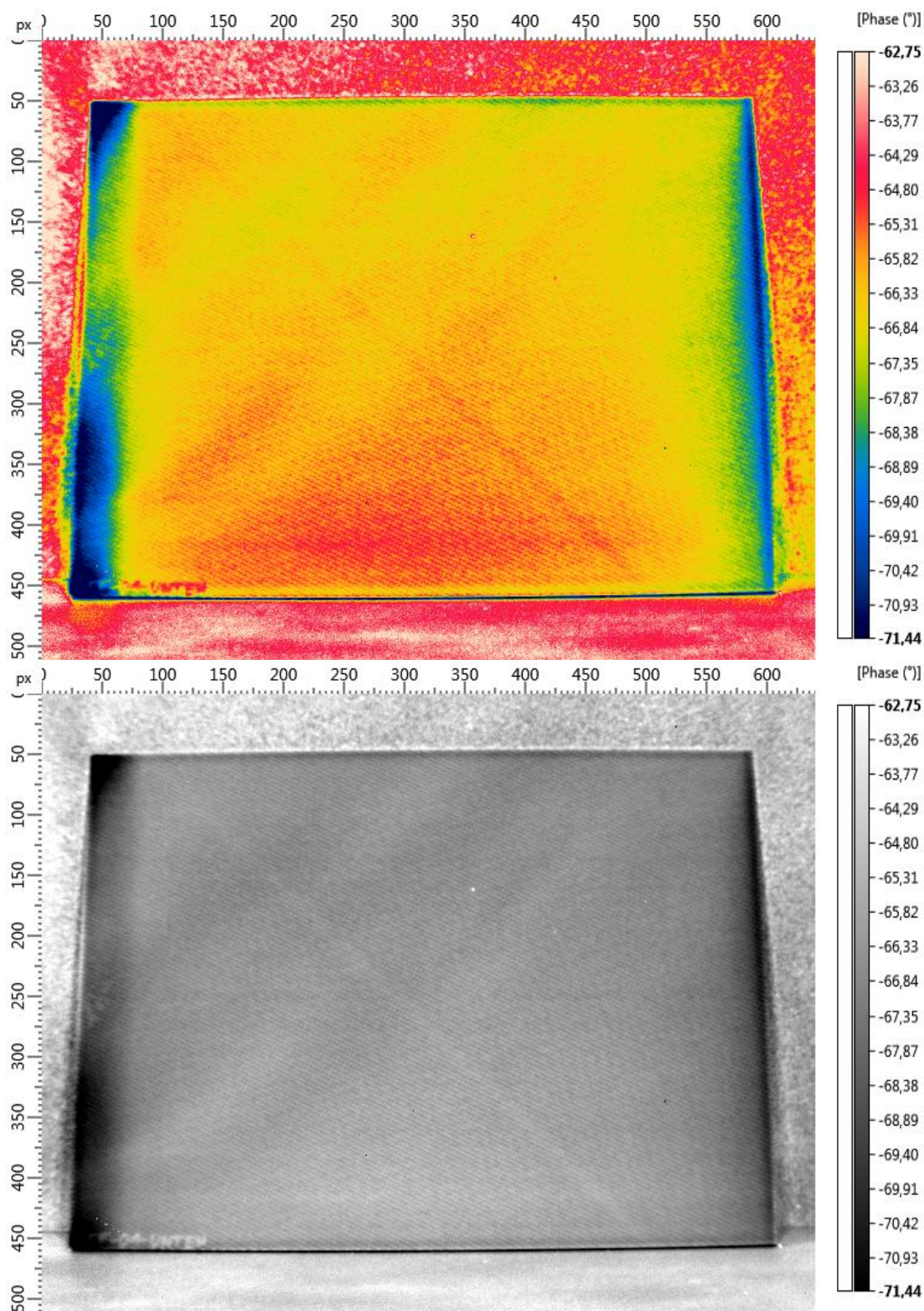
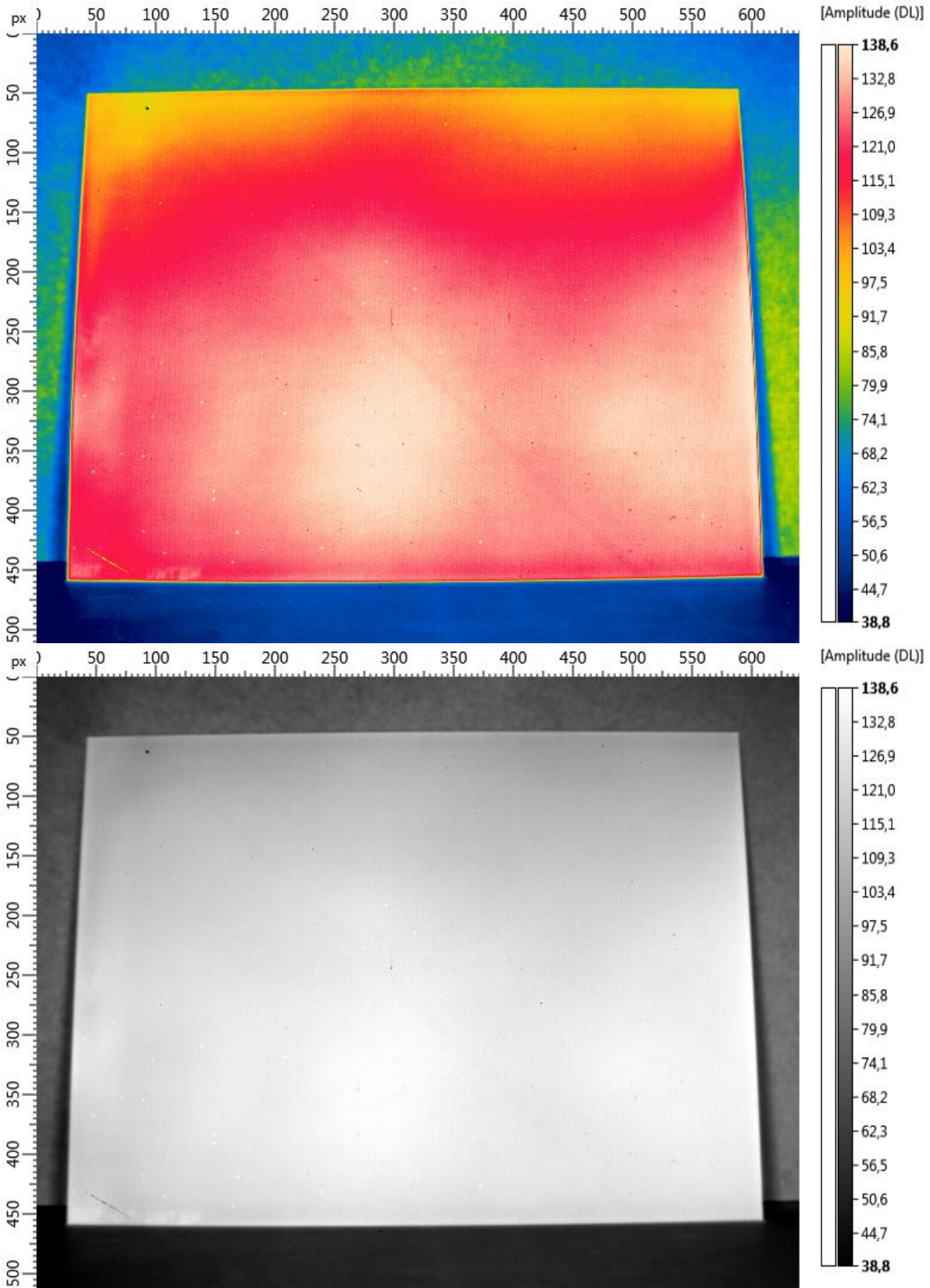


Abbildung 21: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

**4.2.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm**





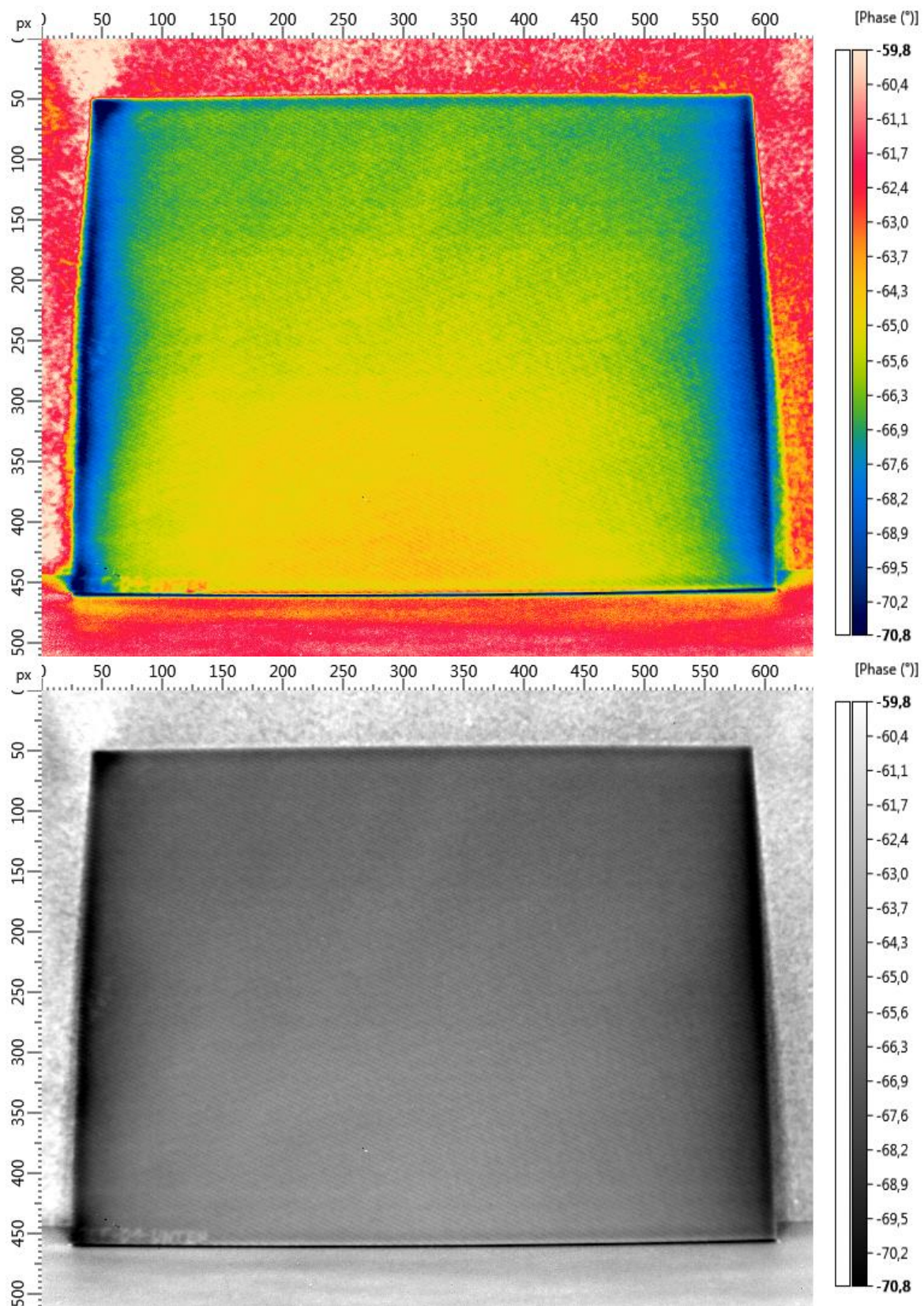
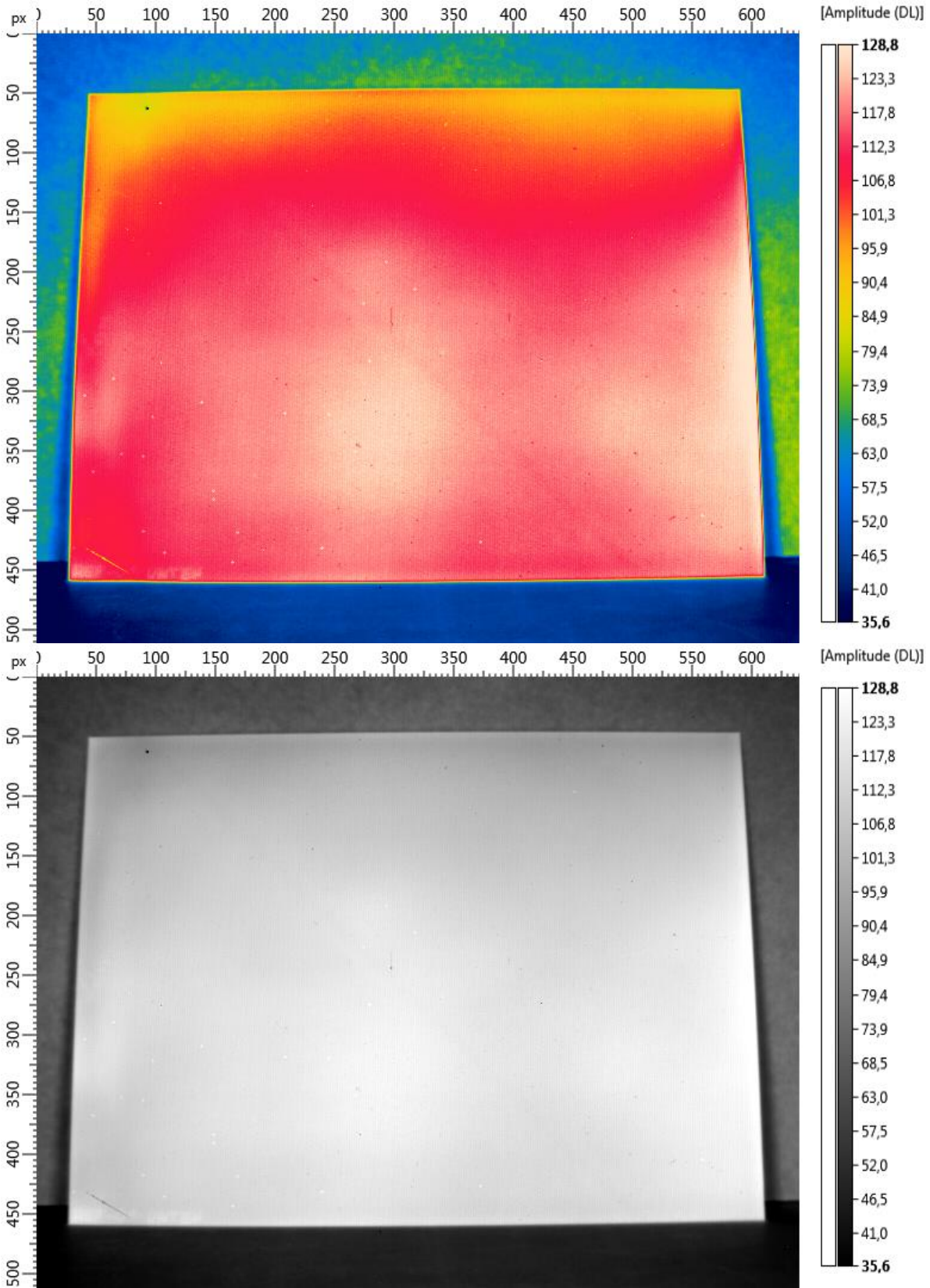


Abbildung 22: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

4.2.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





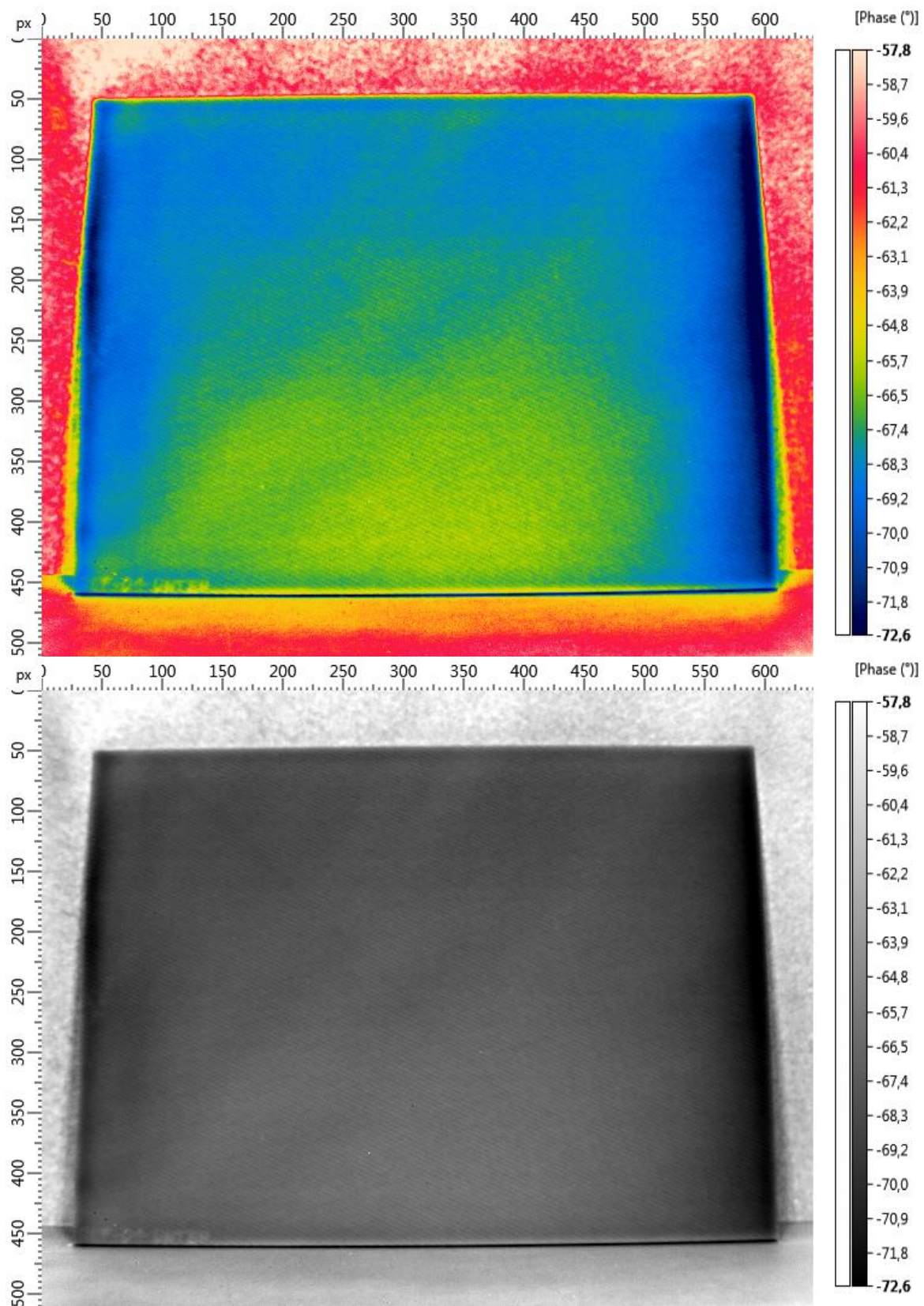


Abbildung 23: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.2.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der rechten Seite ein ca. 46 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 40 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 40 mm auf der linken Seite erkennbar. Ebenso ist OBEN und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei der Messung mit 0,05 Hz bei ca. 1,60 mm Eindringtiefe zeigt sich dieser Streifen am deutlichsten was darauf schließen lässt das die Folie in die Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



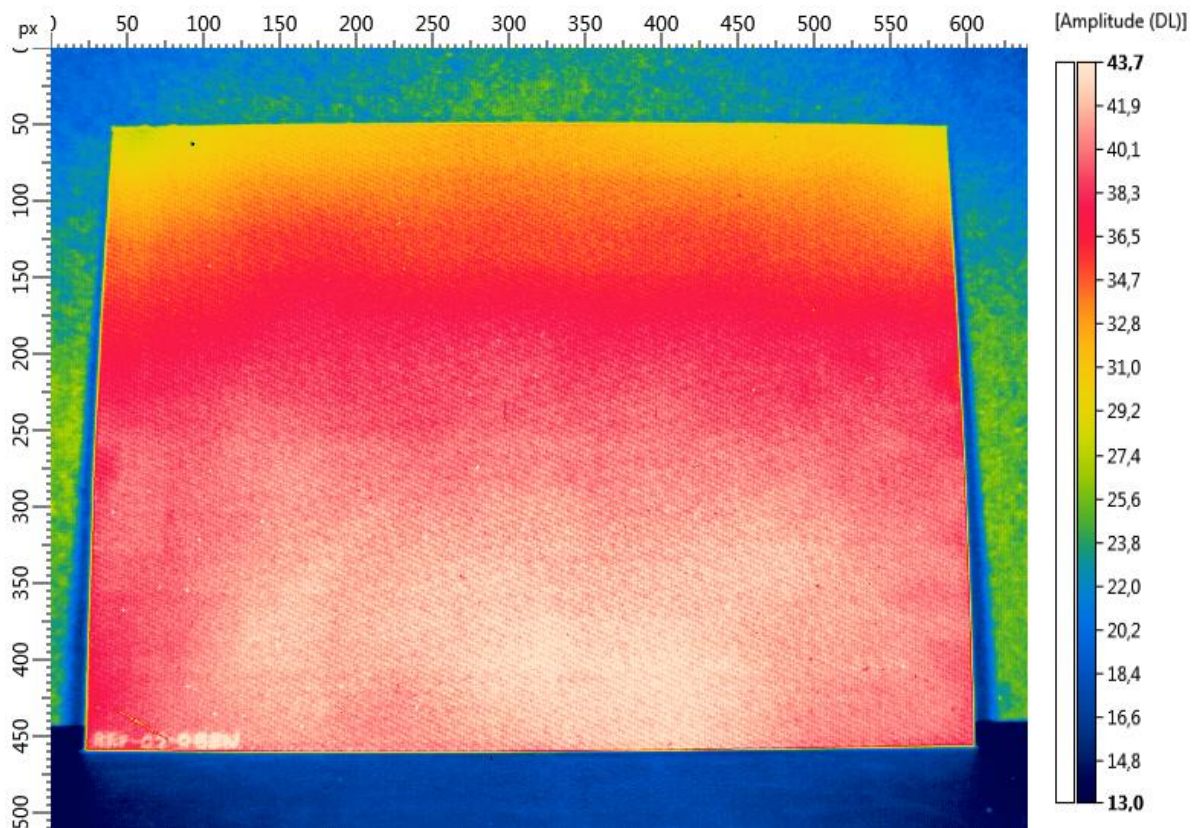
### 4.3. REF-02

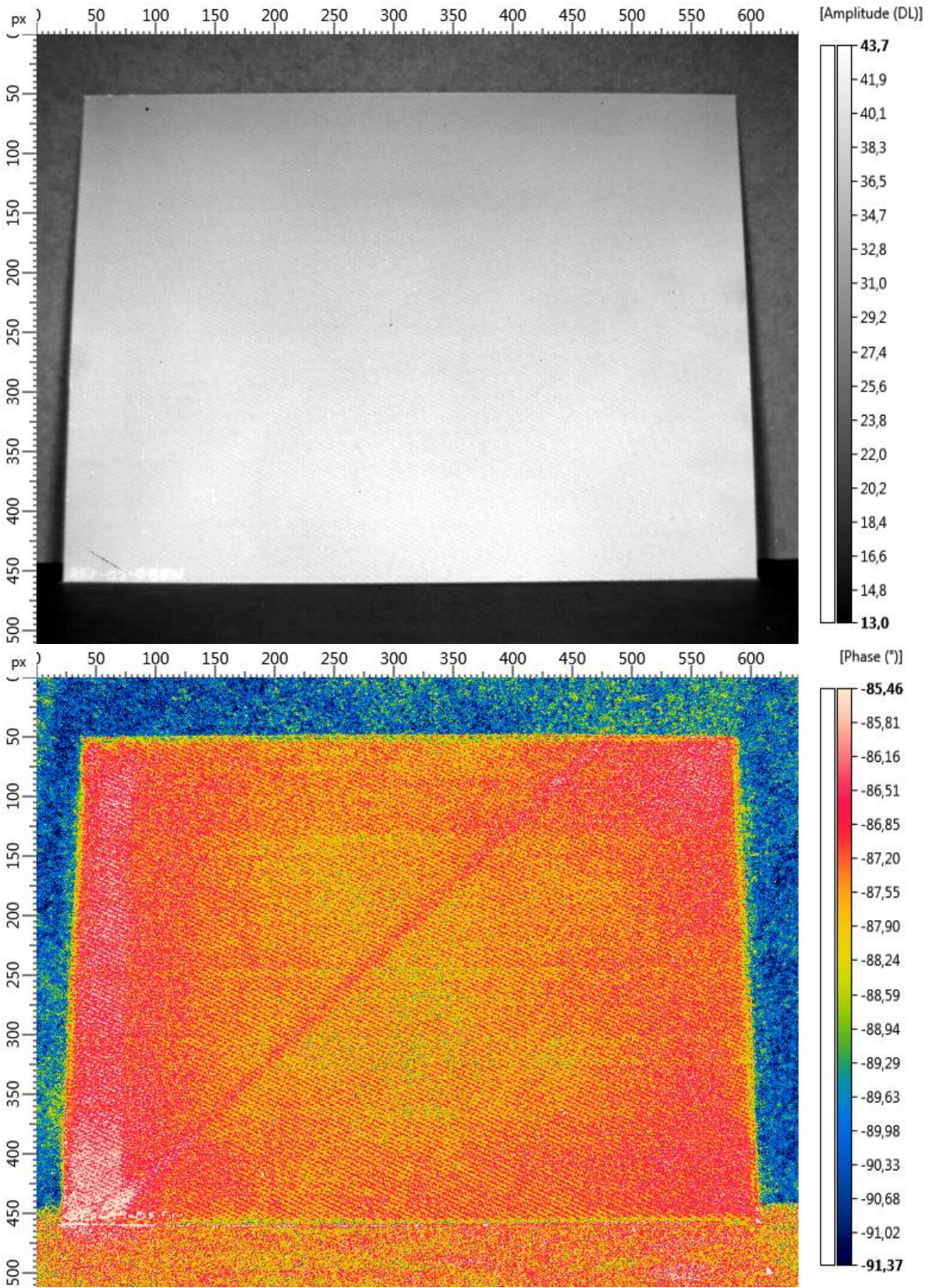
Tabelle 3: Dickenmessung REF-02

3,3 mm	3,3 mm
3,3 mm	3,3 mm

#### 4.3.1. Messung von OBEN

##### 4.3.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







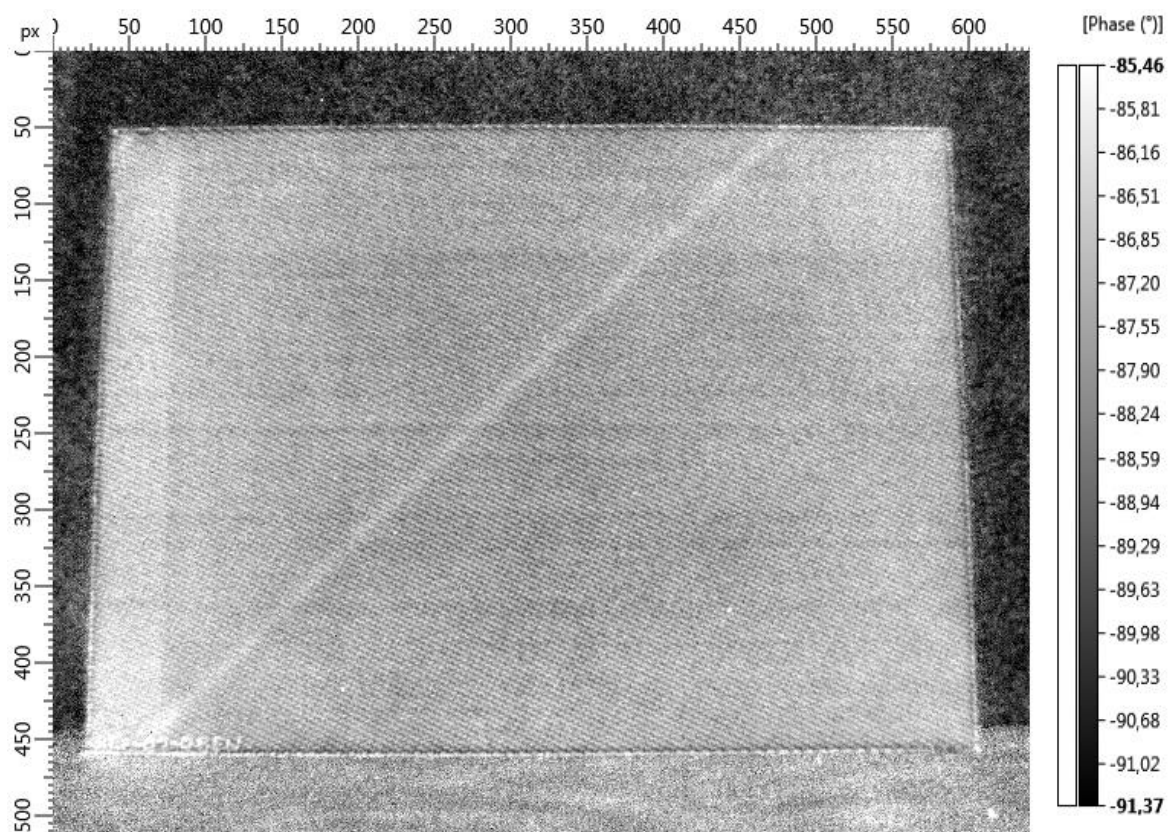
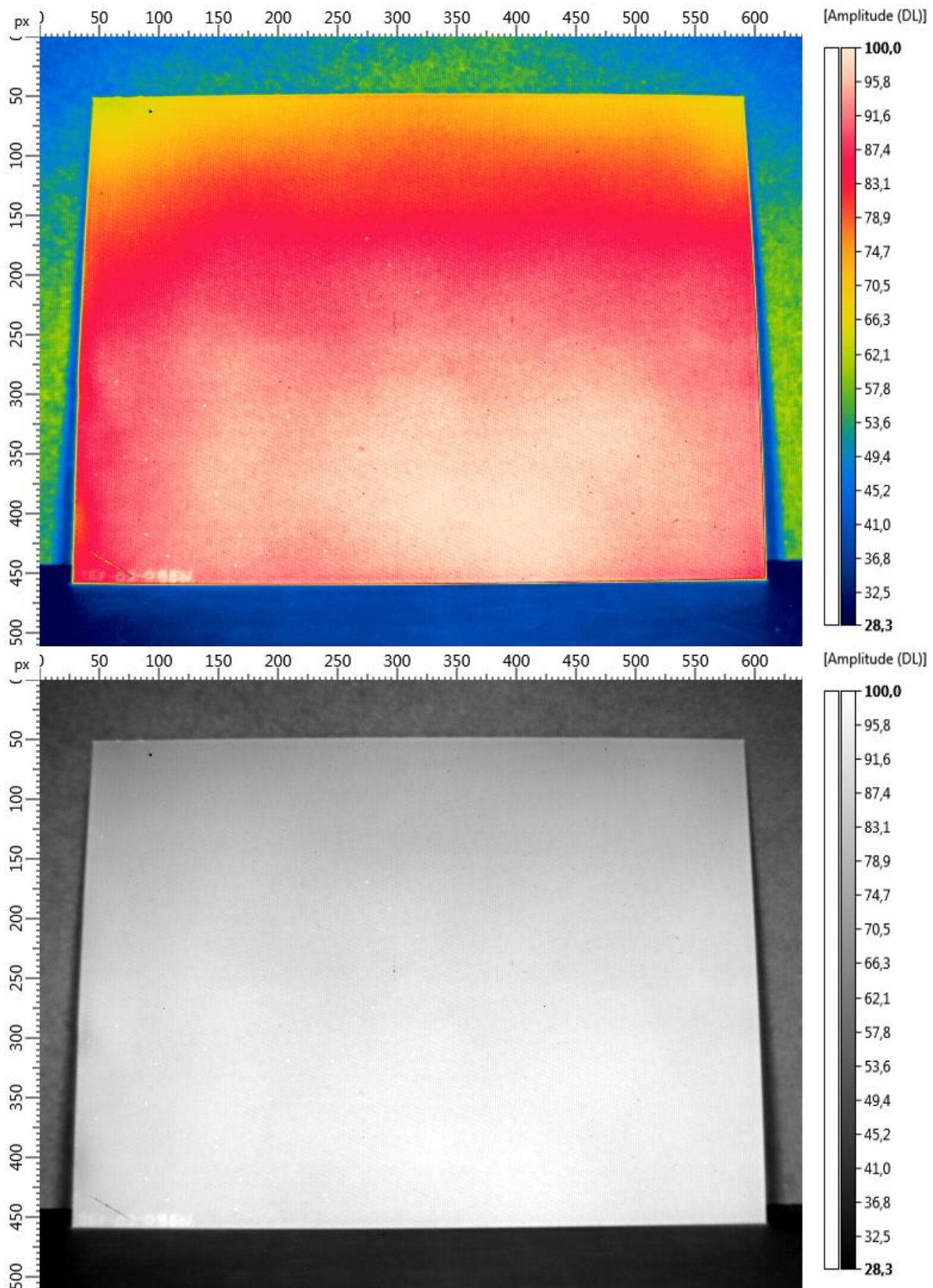


Abbildung 24: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

#### 4.3.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





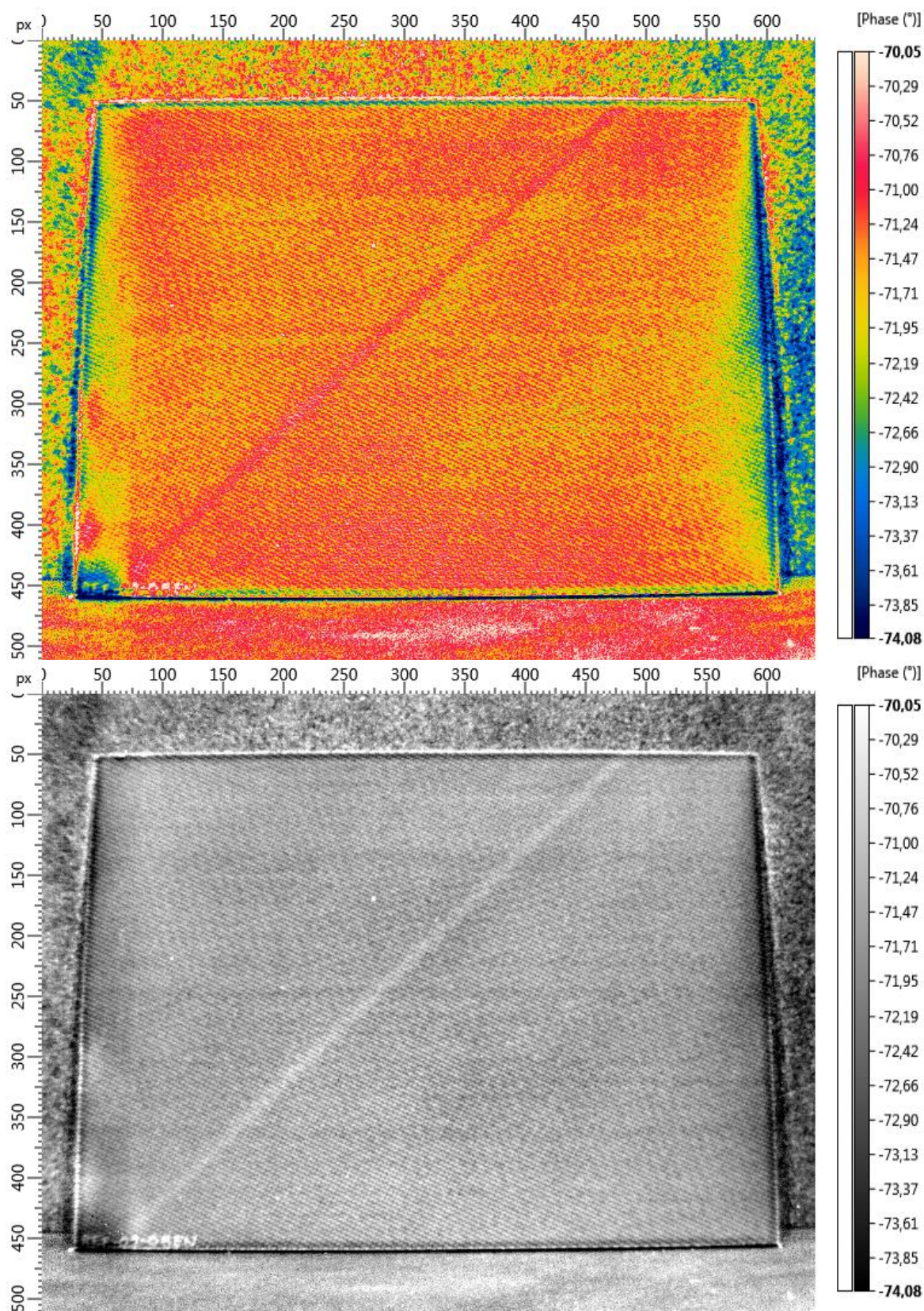
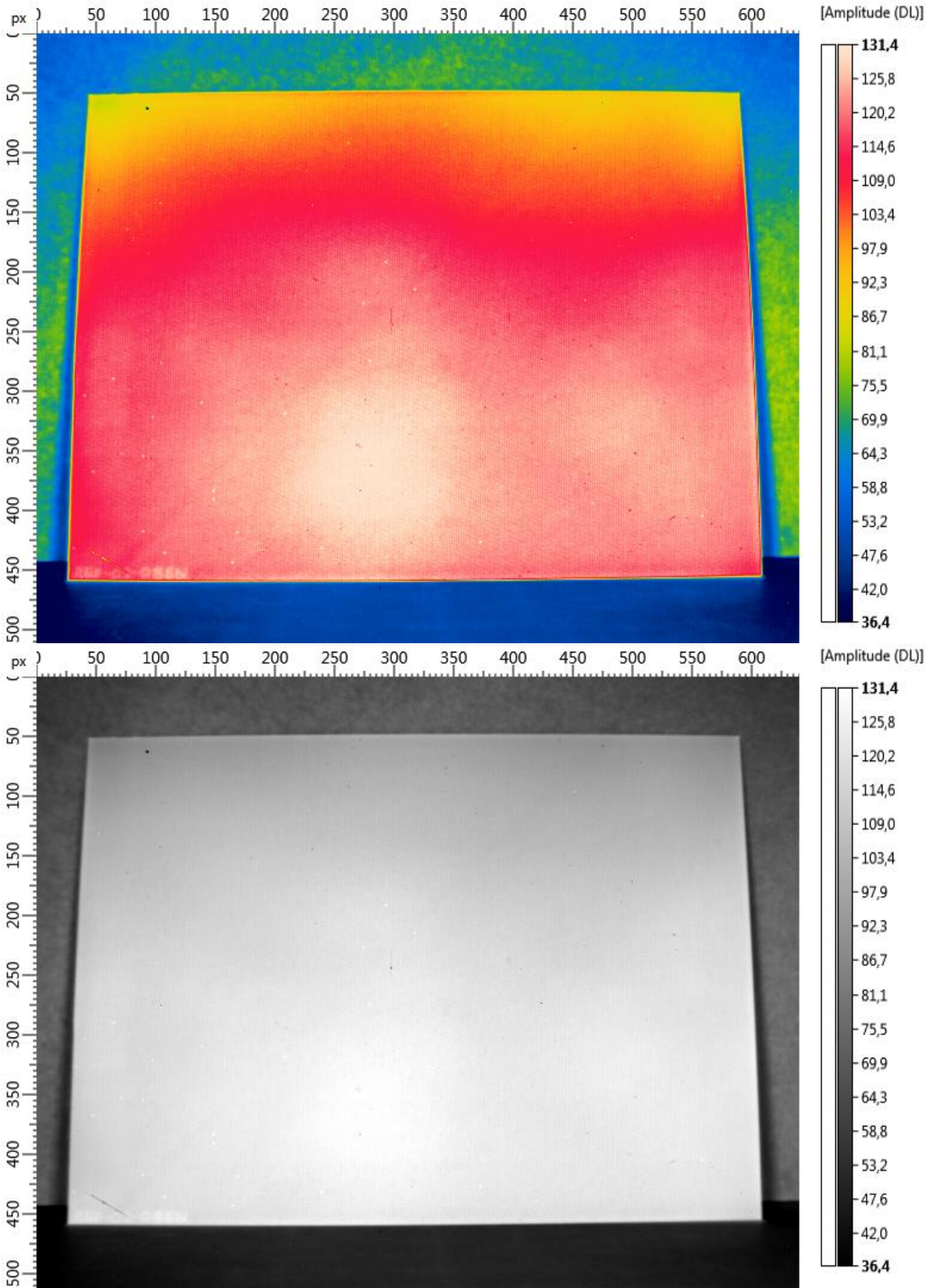


Abbildung 25: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



4.3.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





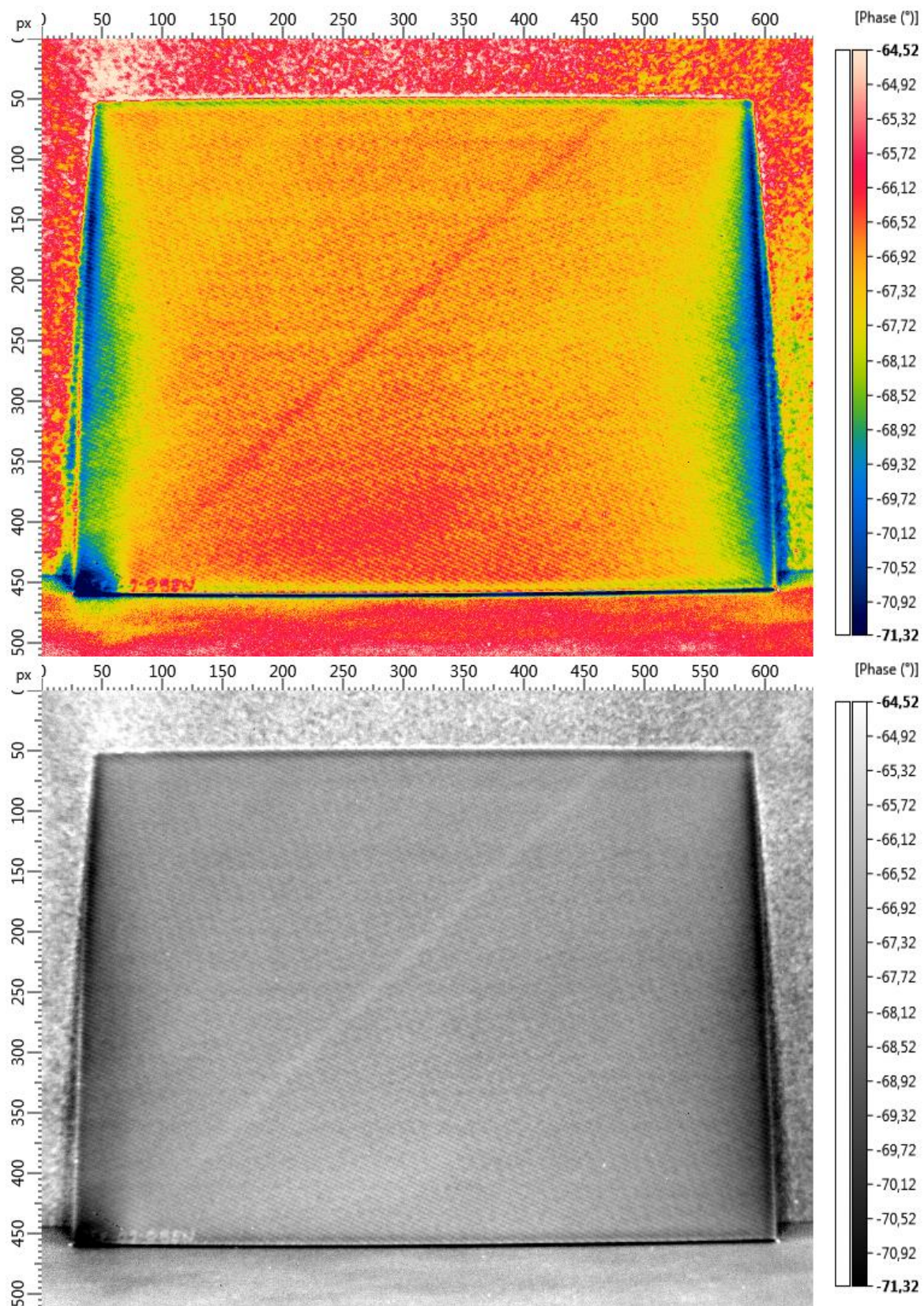
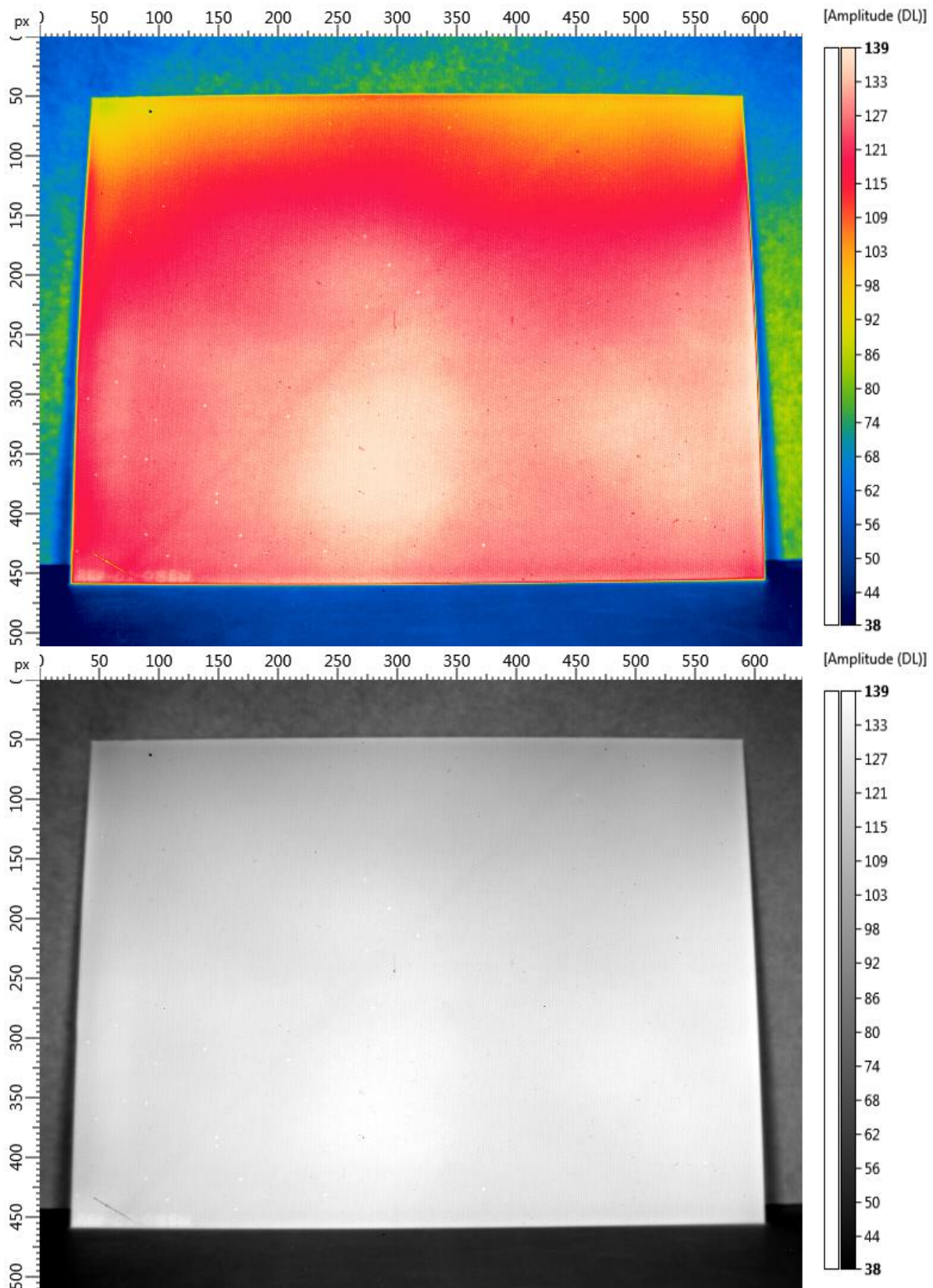


Abbildung 26: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.3.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





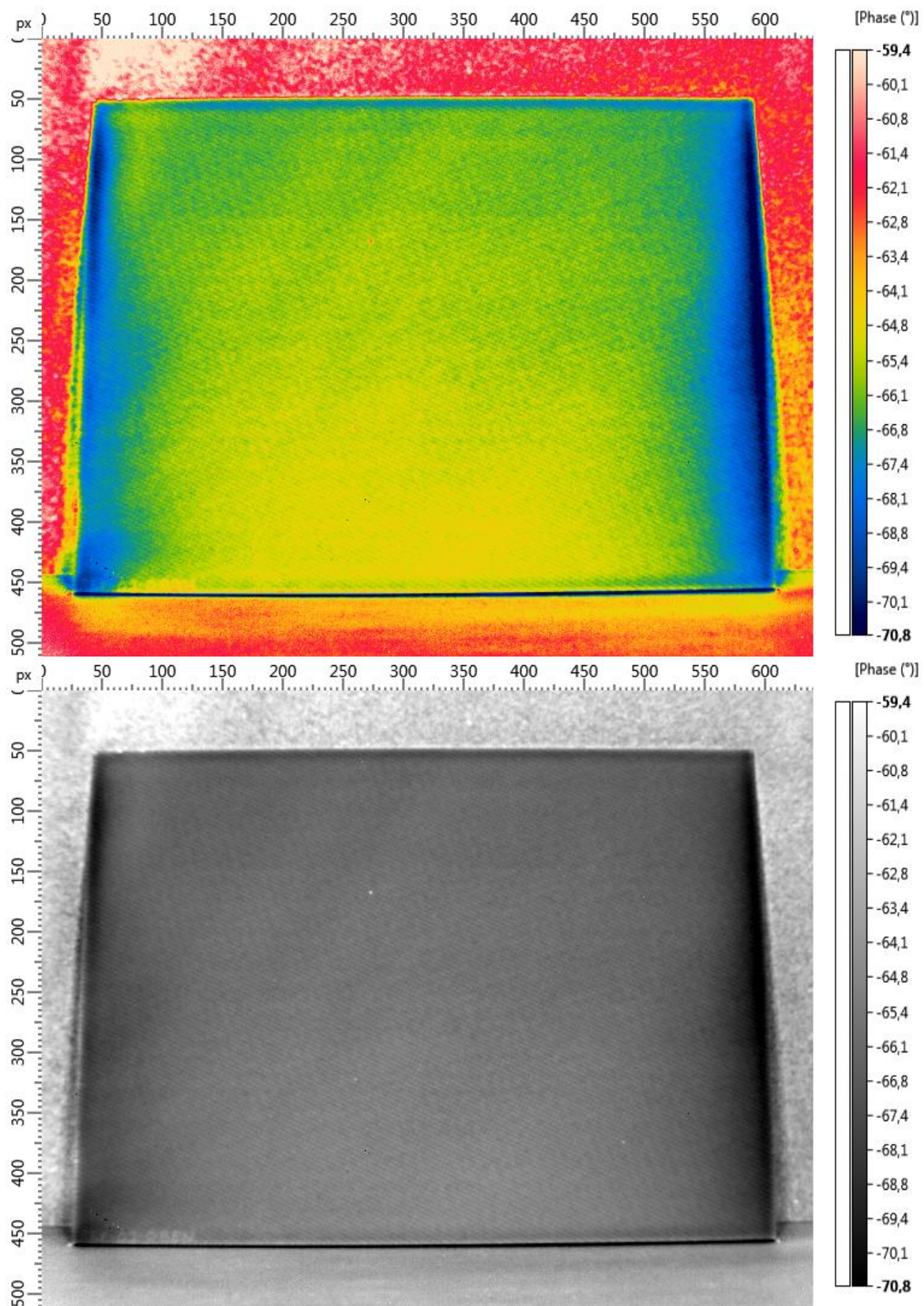
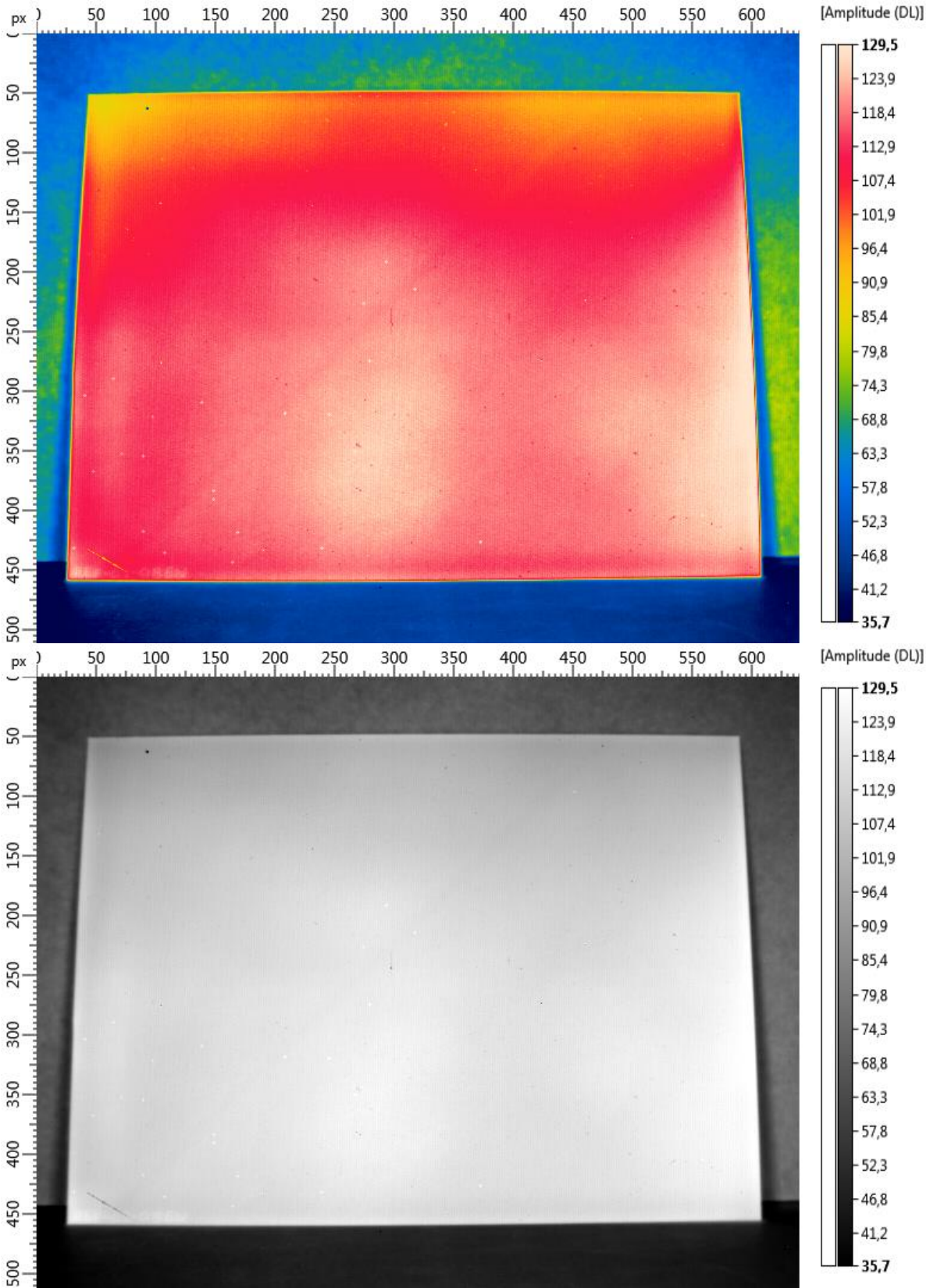


Abbildung 27: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

4.3.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





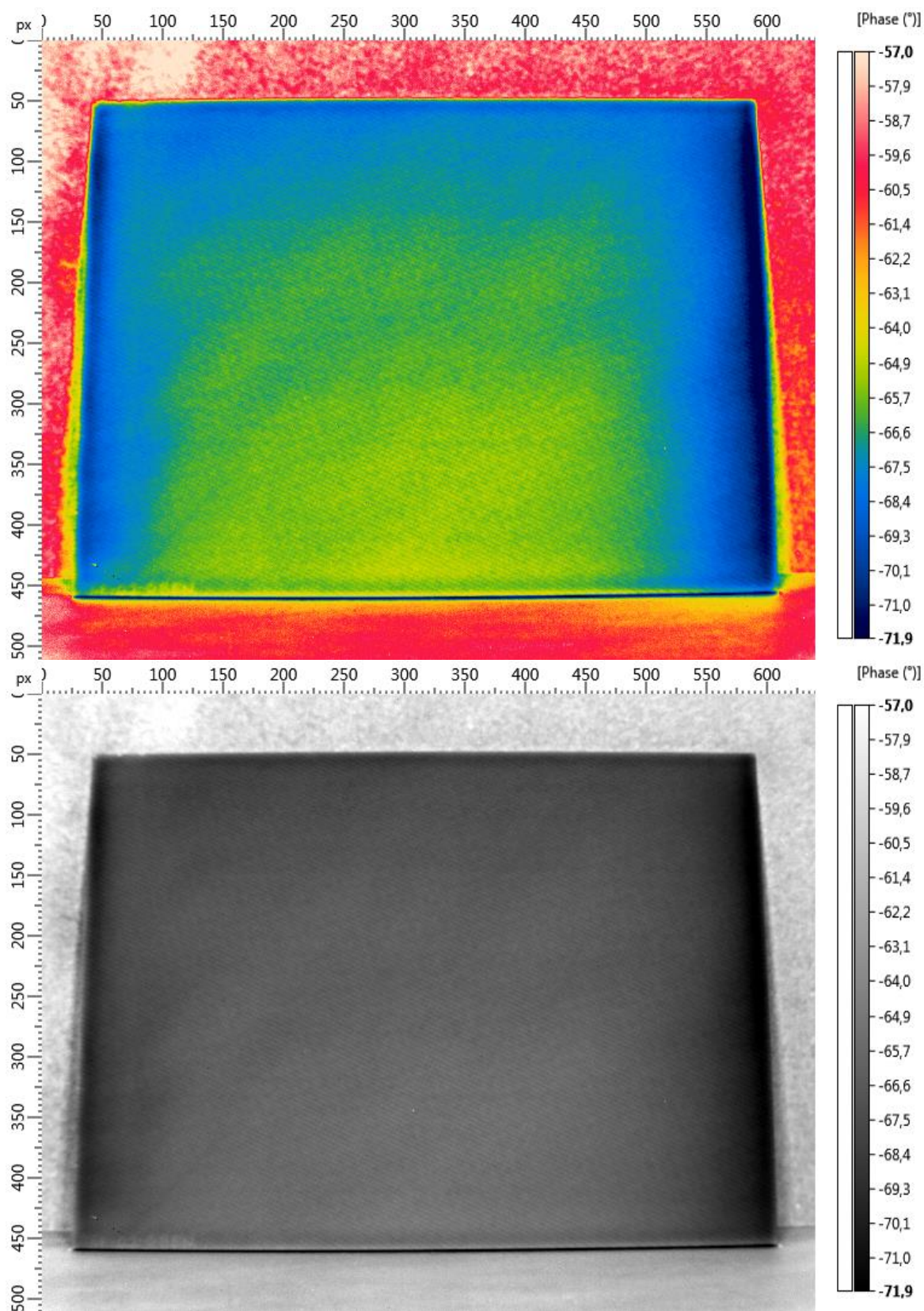
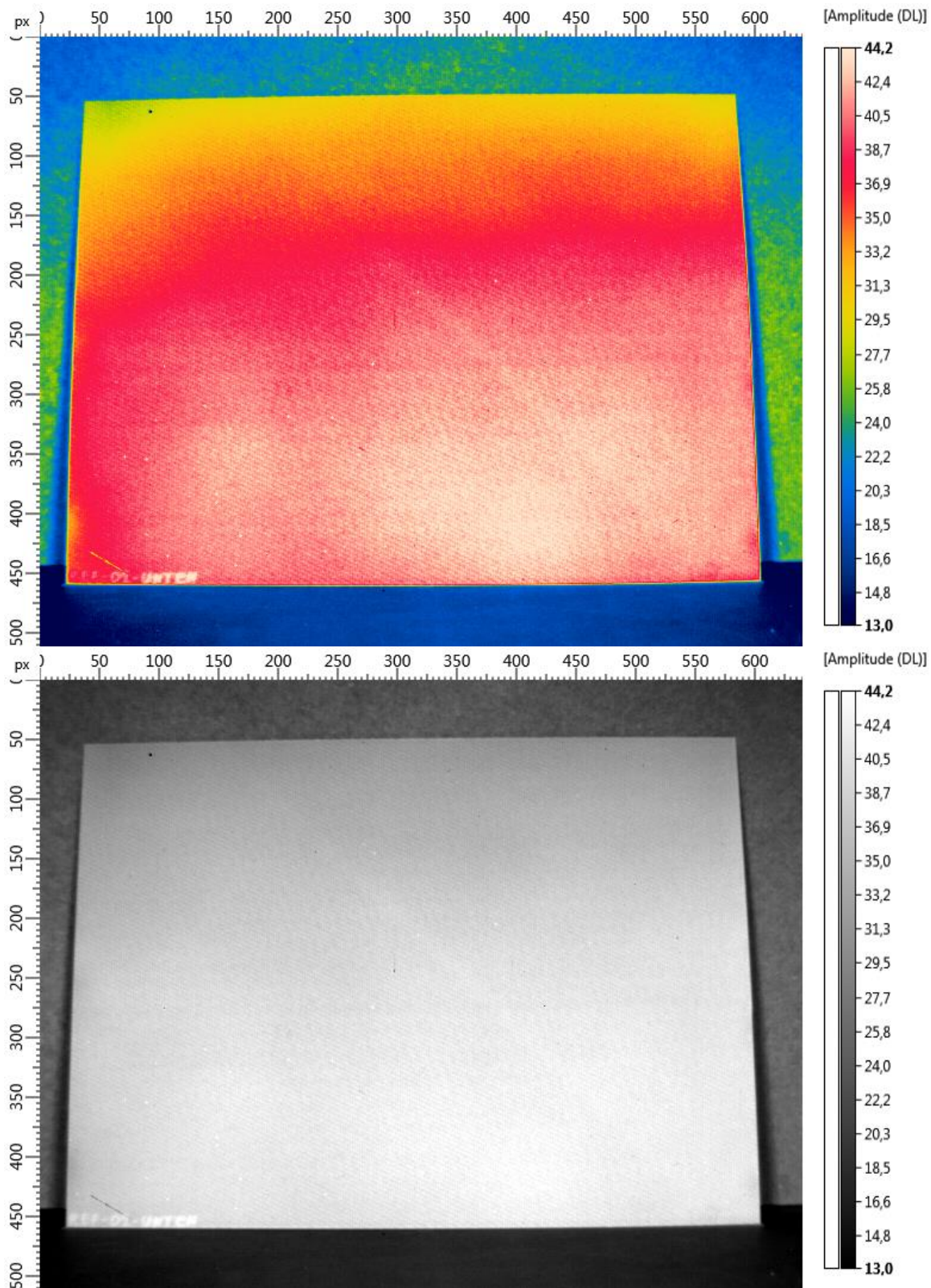


Abbildung 28: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.3.2. Messungen von UNTEN

### 4.3.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





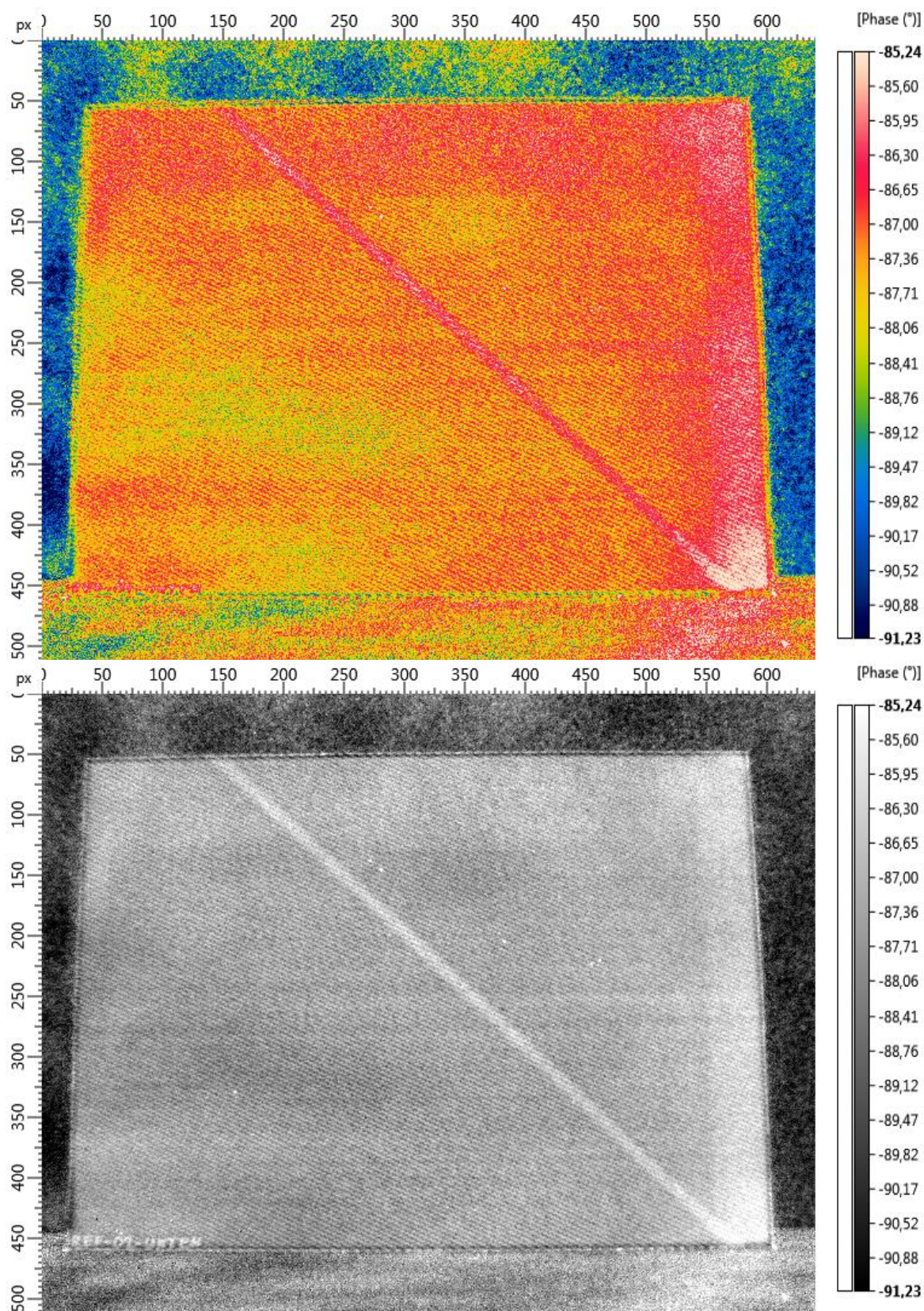
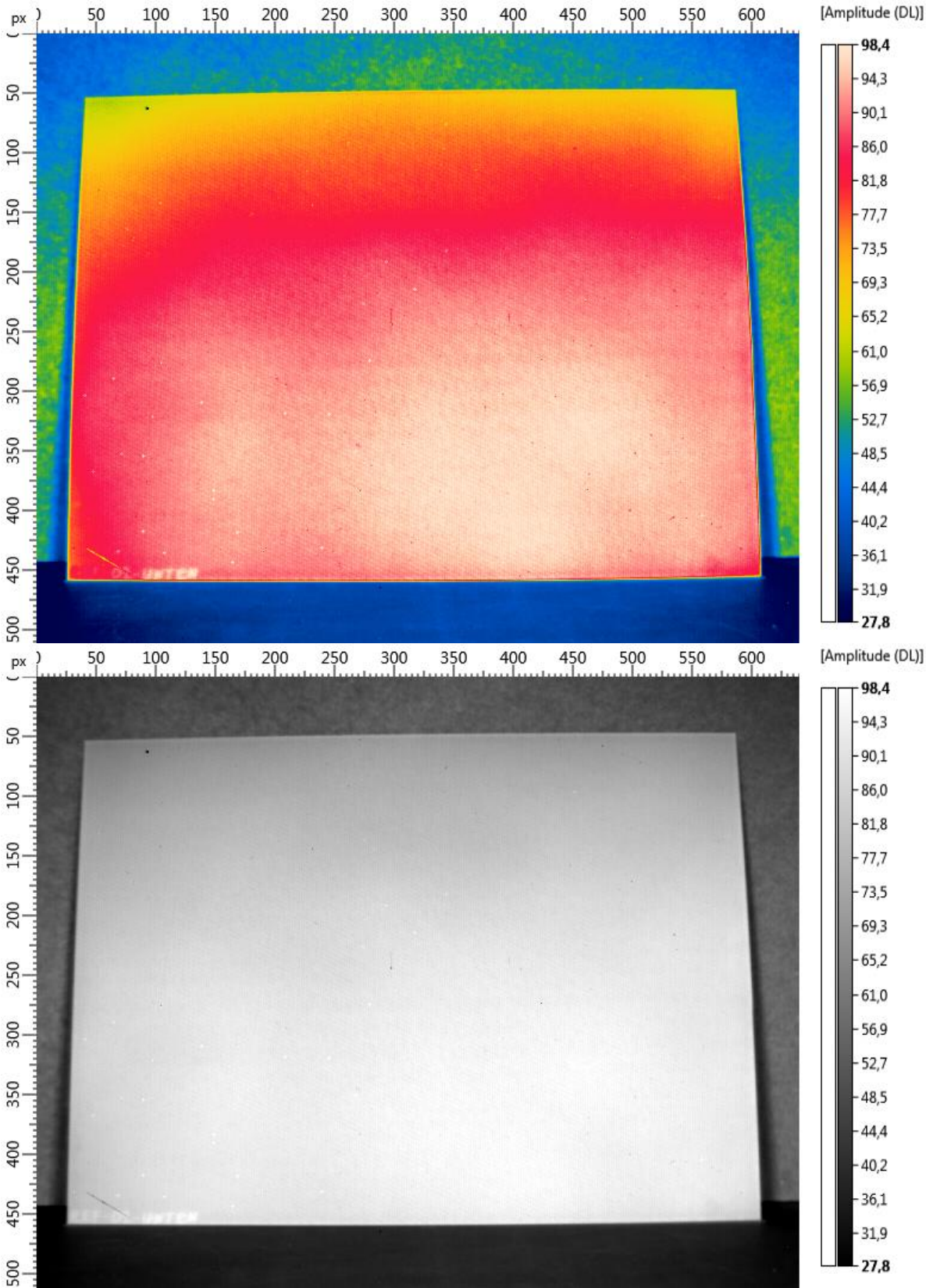


Abbildung 29: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



4.3.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





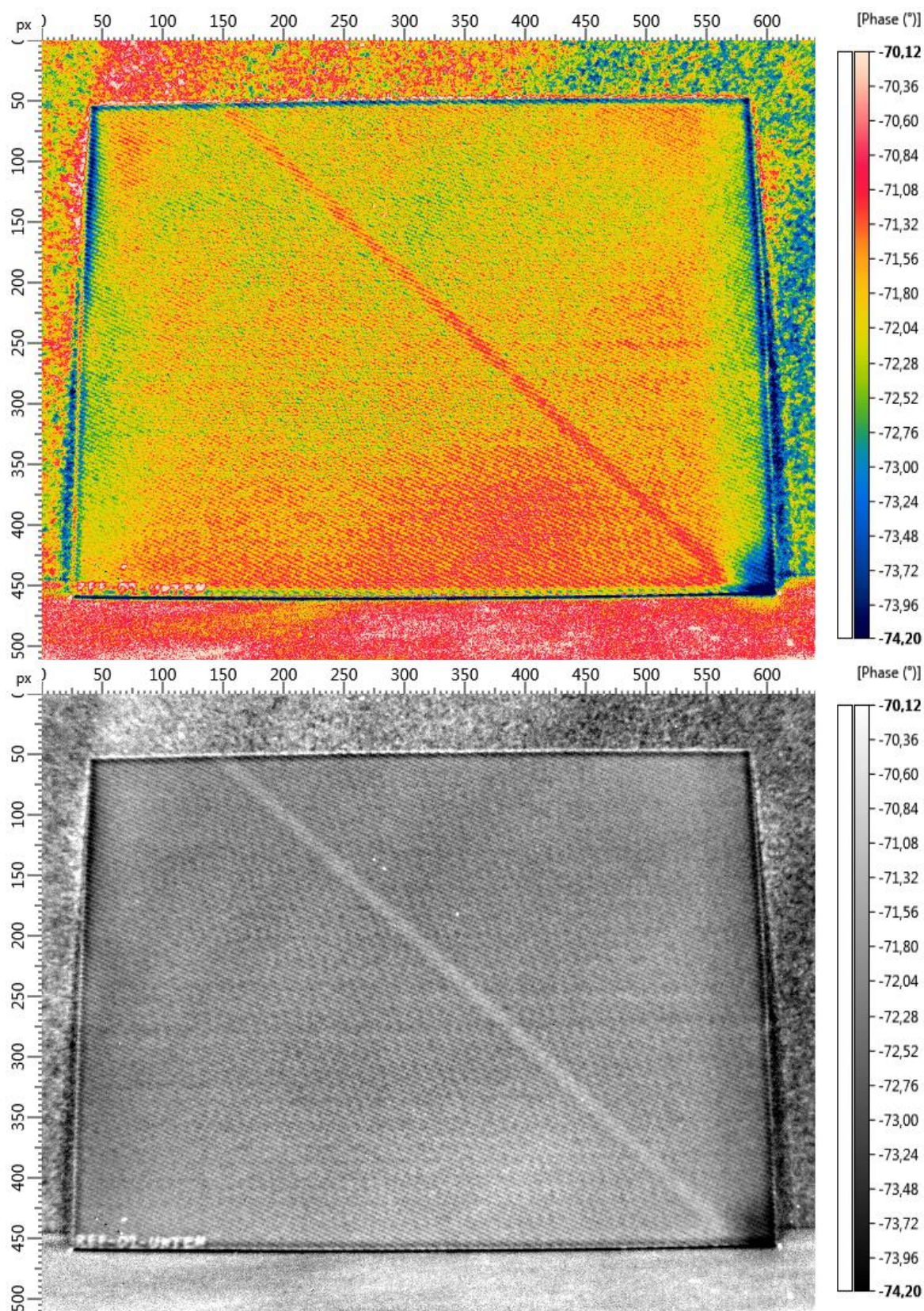
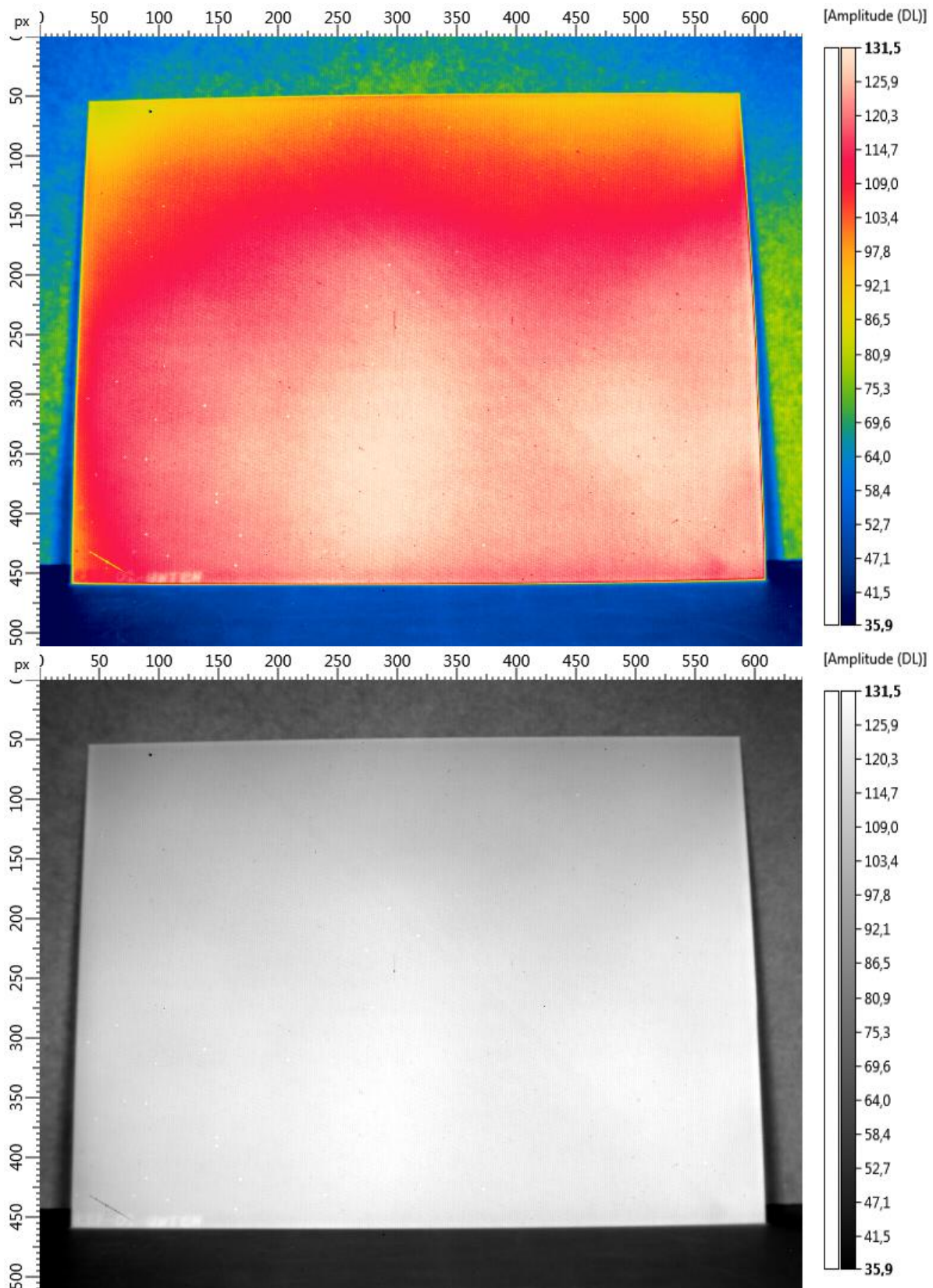


Abbildung 30: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,1\text{Hz} = 1,13\text{mm}$  in Rain und Grey Skala



#### 4.3.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





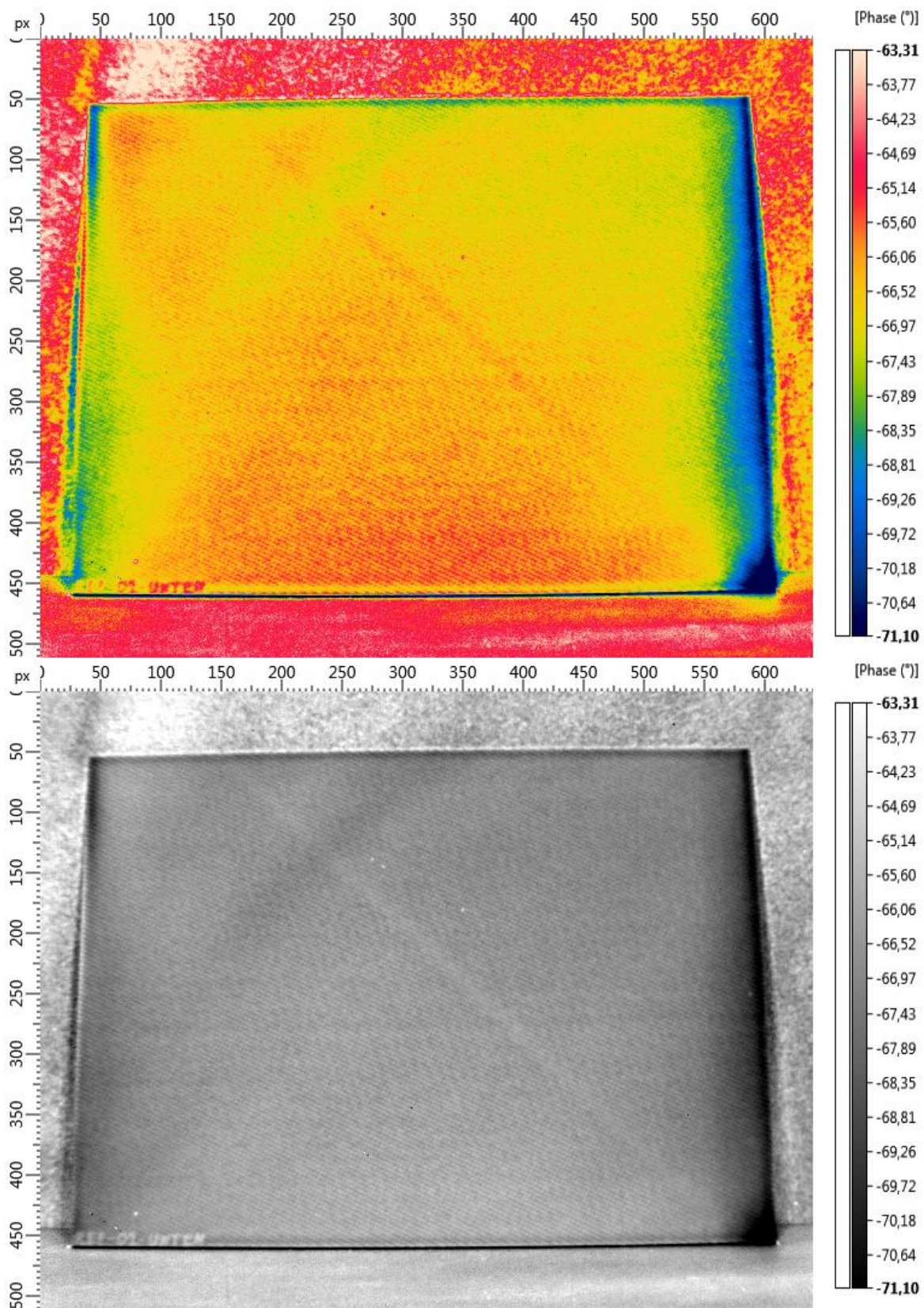
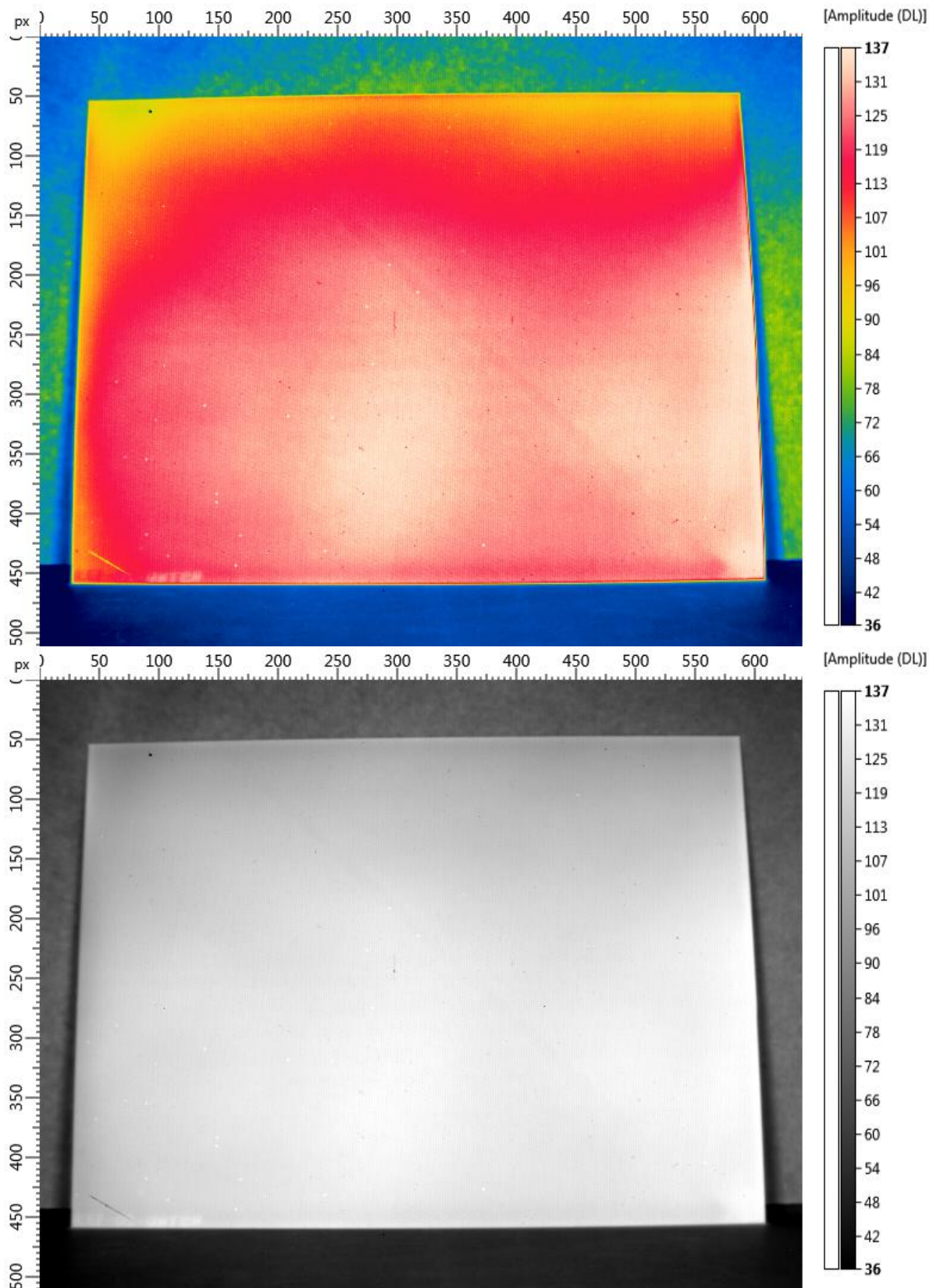


Abbildung 31: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.3.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





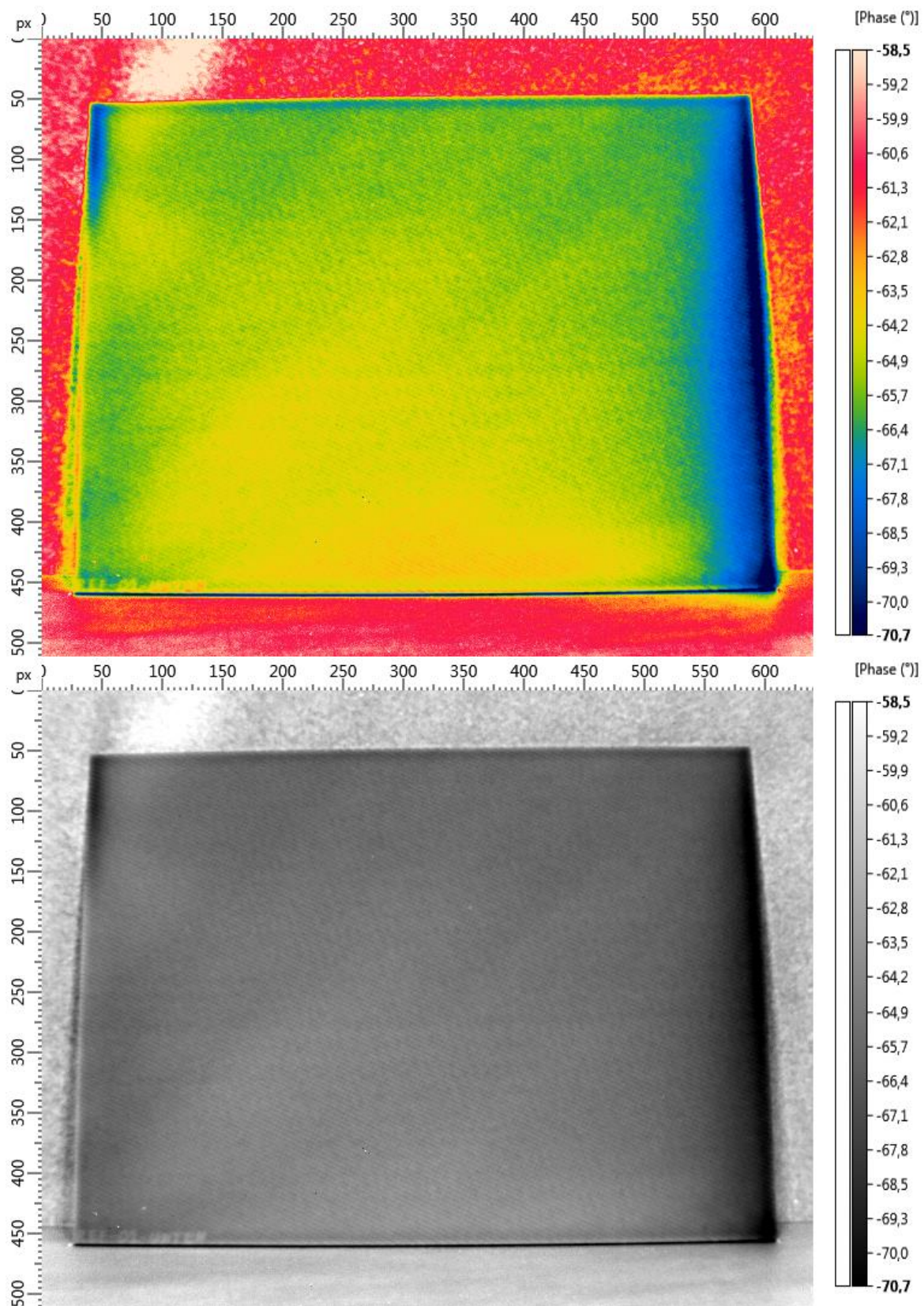
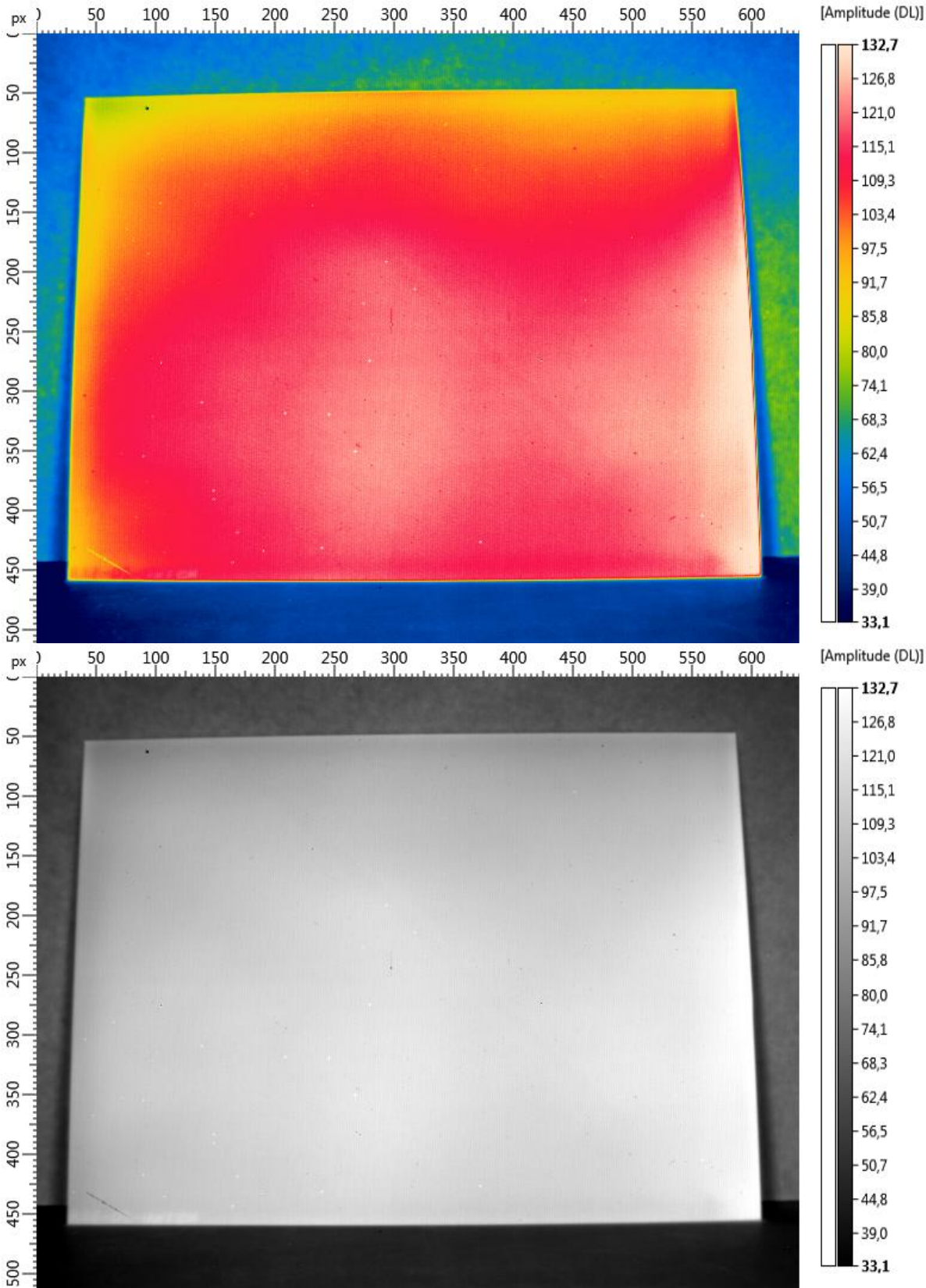


Abbildung 32: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

4.3.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





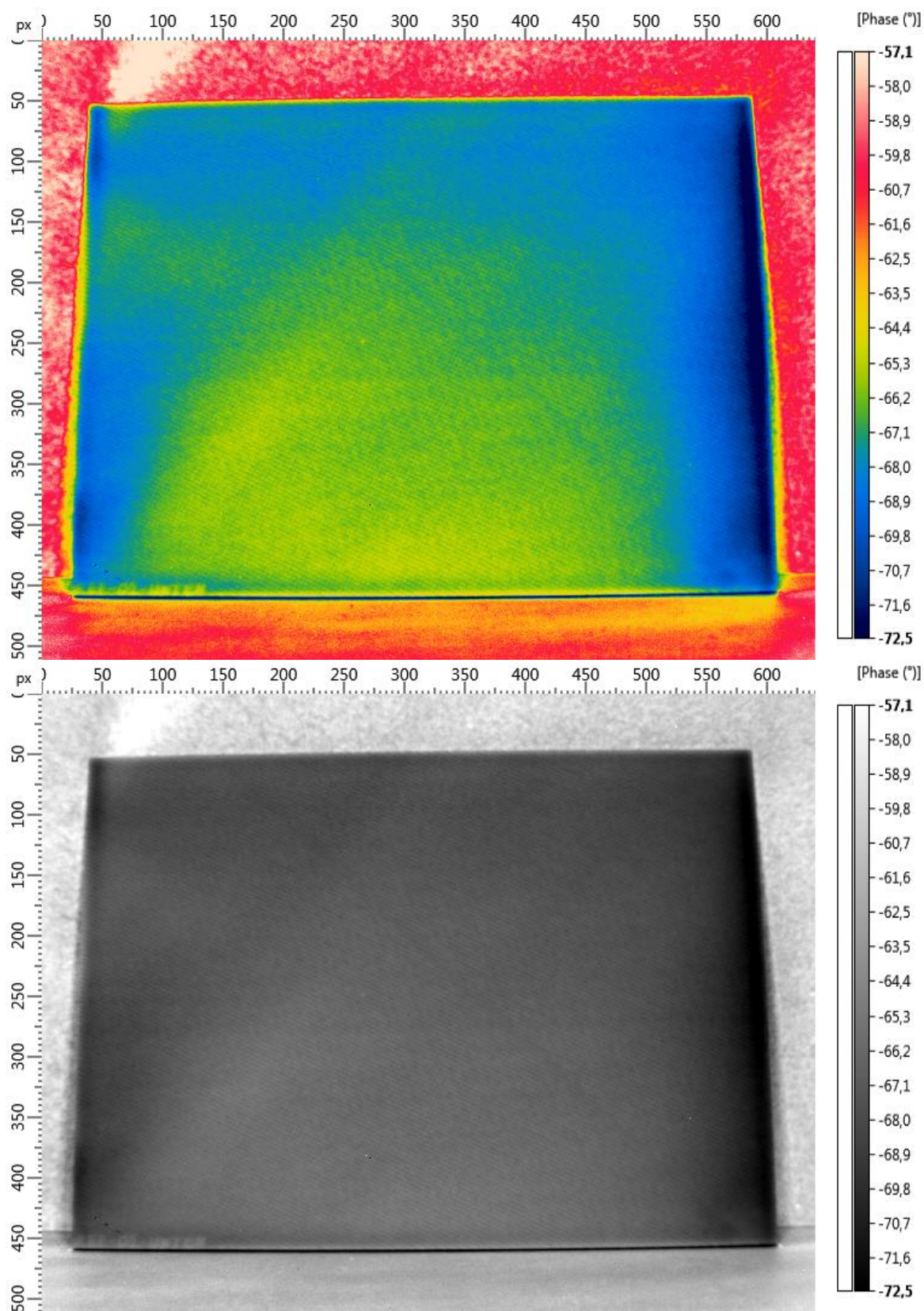


Abbildung 33: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,02\text{Hz} = 2,52\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

### 4.3.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffekt zu sehen sein. Der Randeffekt entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der linken Seite ein ca. 46 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 40 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 40 mm auf der rechten Seite erkennbar. Ebenso ist OBEN und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei der Messung mit 0,05 Hz bei ca. 1,60 mm Eindringtiefe zeigt sich dieser Streifen am deutlichsten was darauf schließen lässt das die Folie in die Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



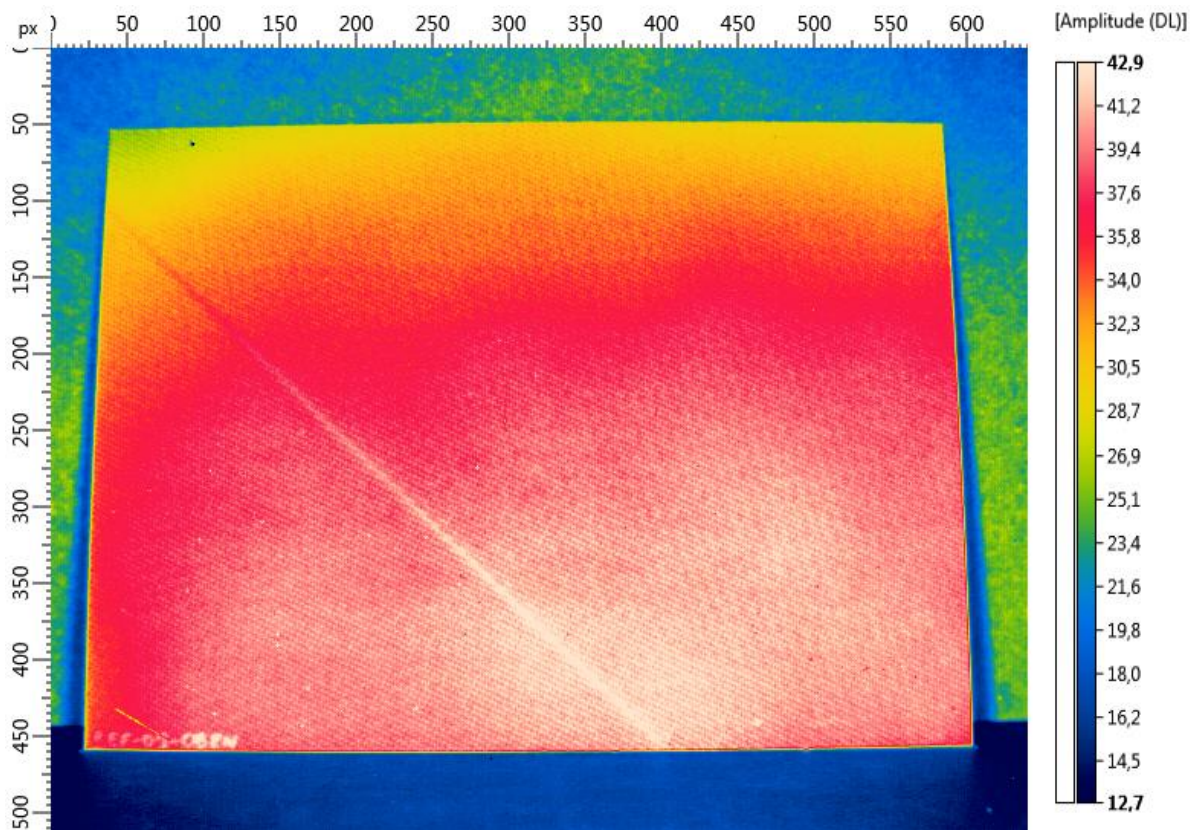
## 4.4. REF-03

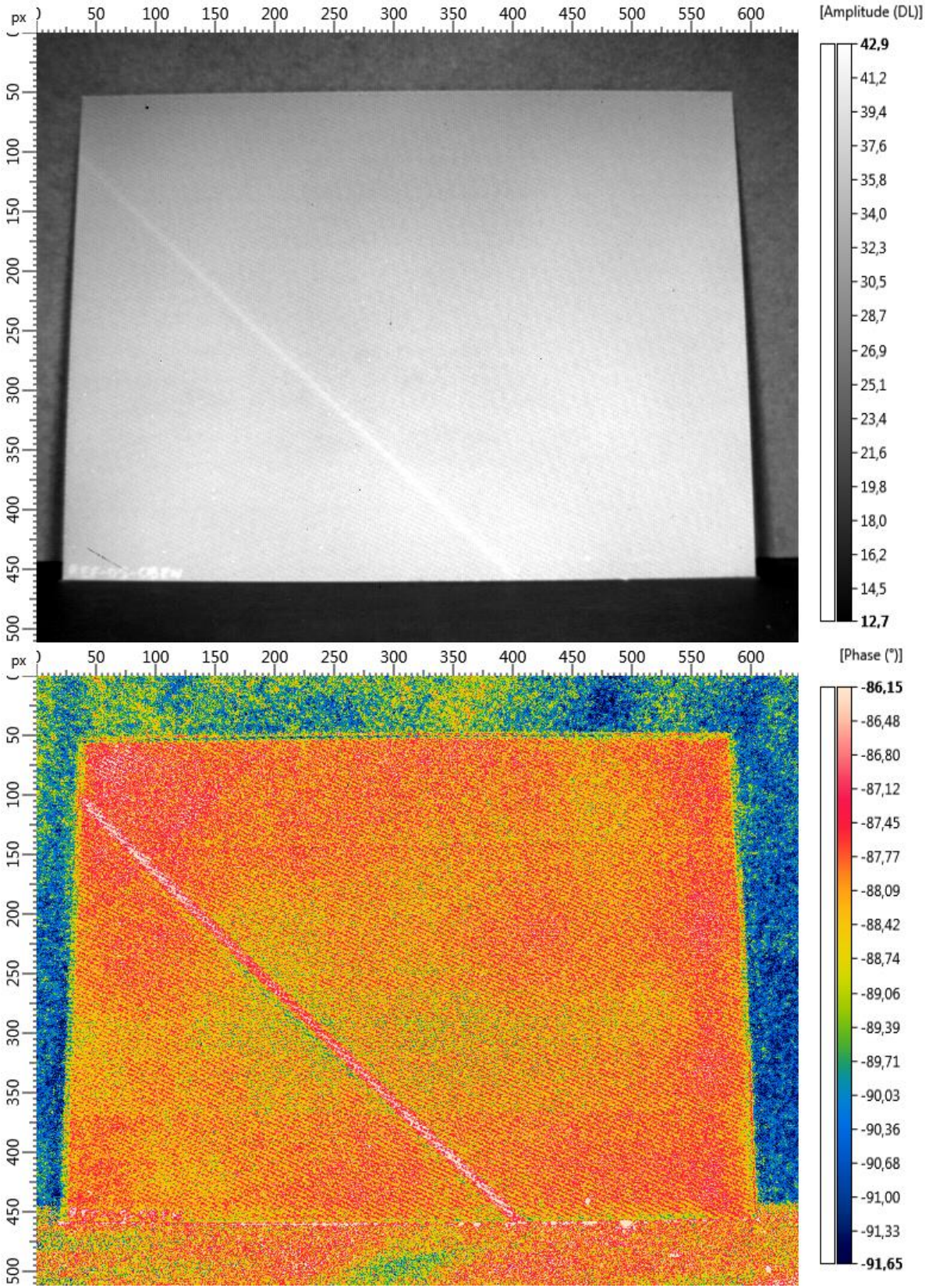
Tabelle 4: Dickenmessung REF-03

4,0 mm	3,9 mm
4,0 mm	4,0 mm

### 4.4.1. Messung von OBEN

#### 4.4.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







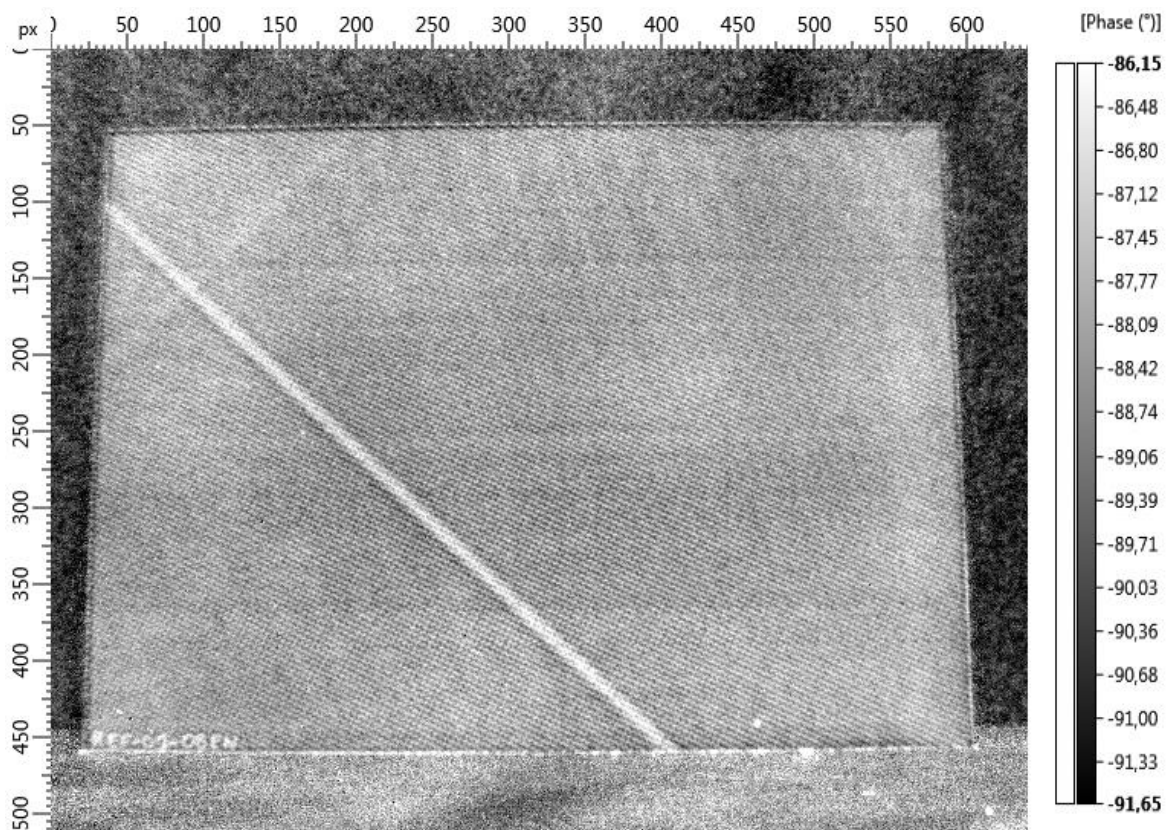
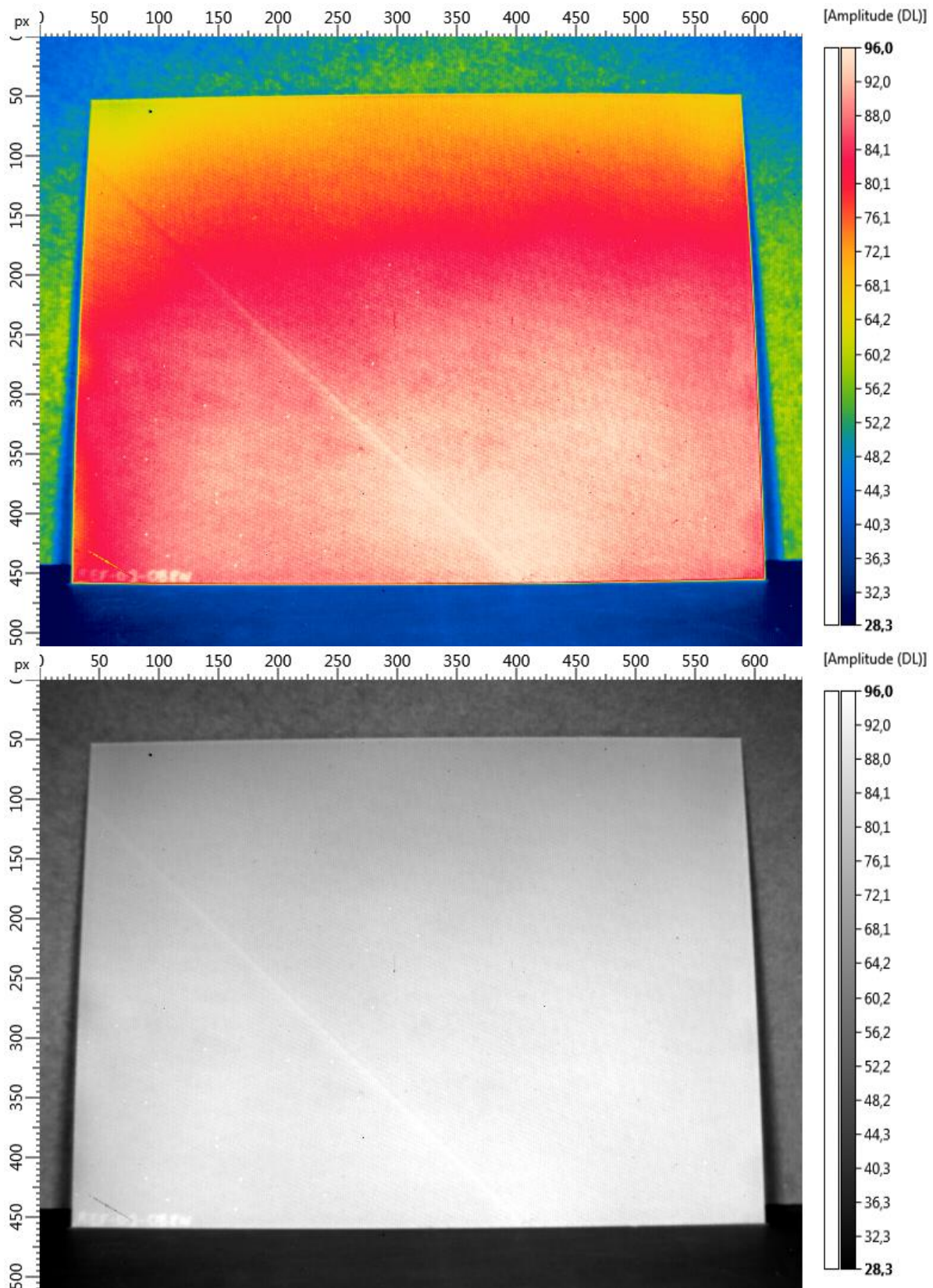


Abbildung 34: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

#### 4.4.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





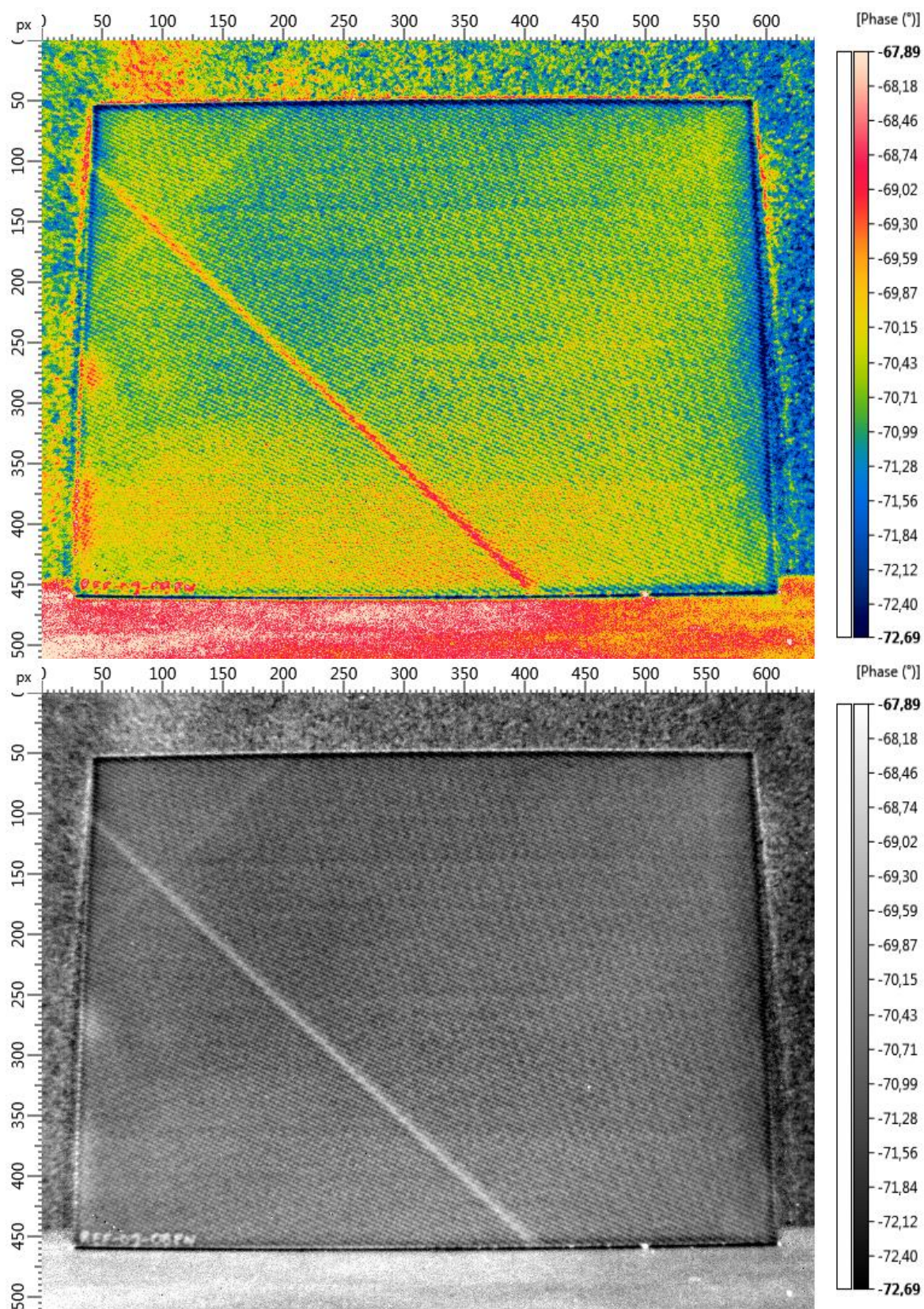
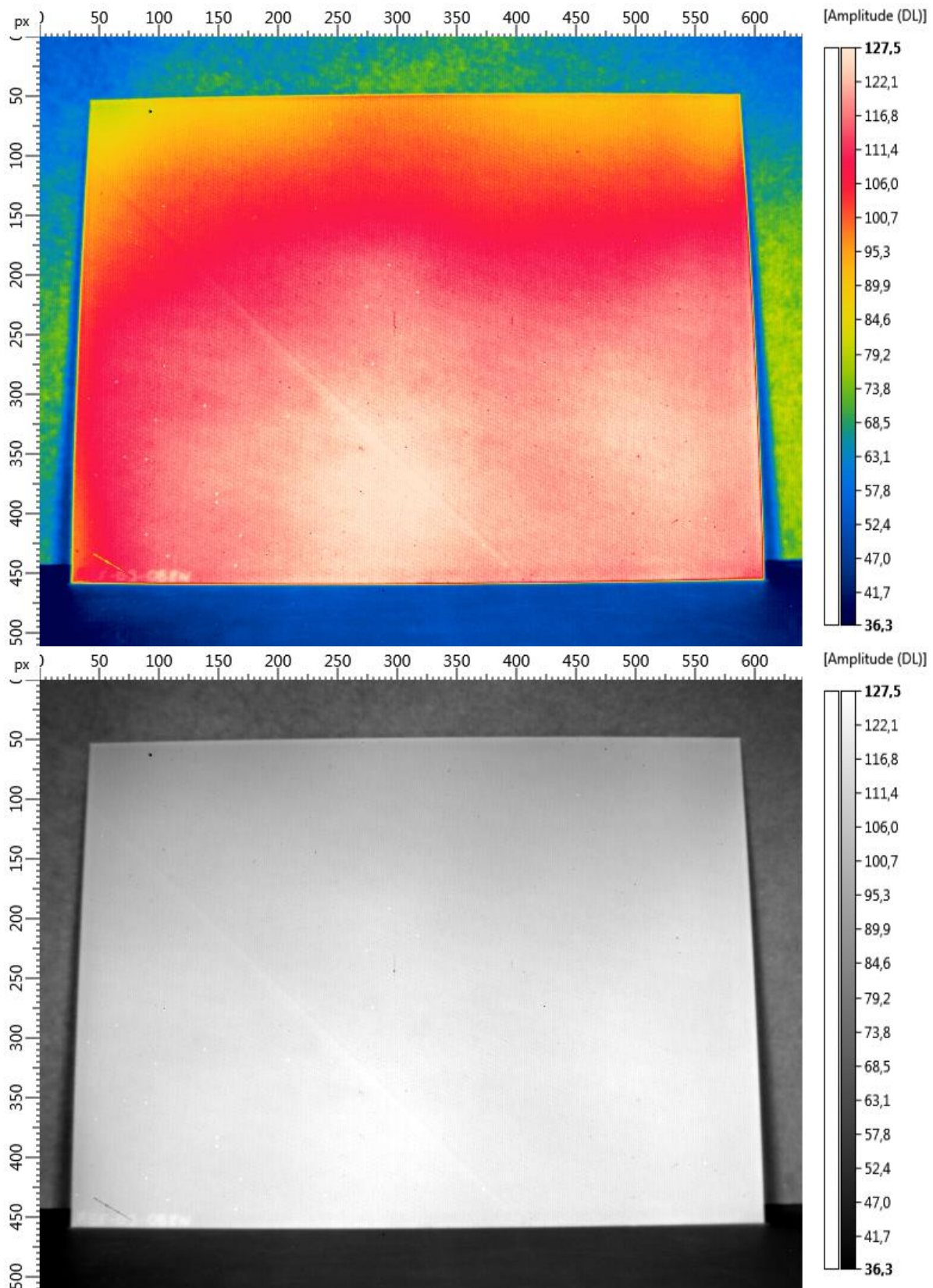


Abbildung 35: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



#### 4.4.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





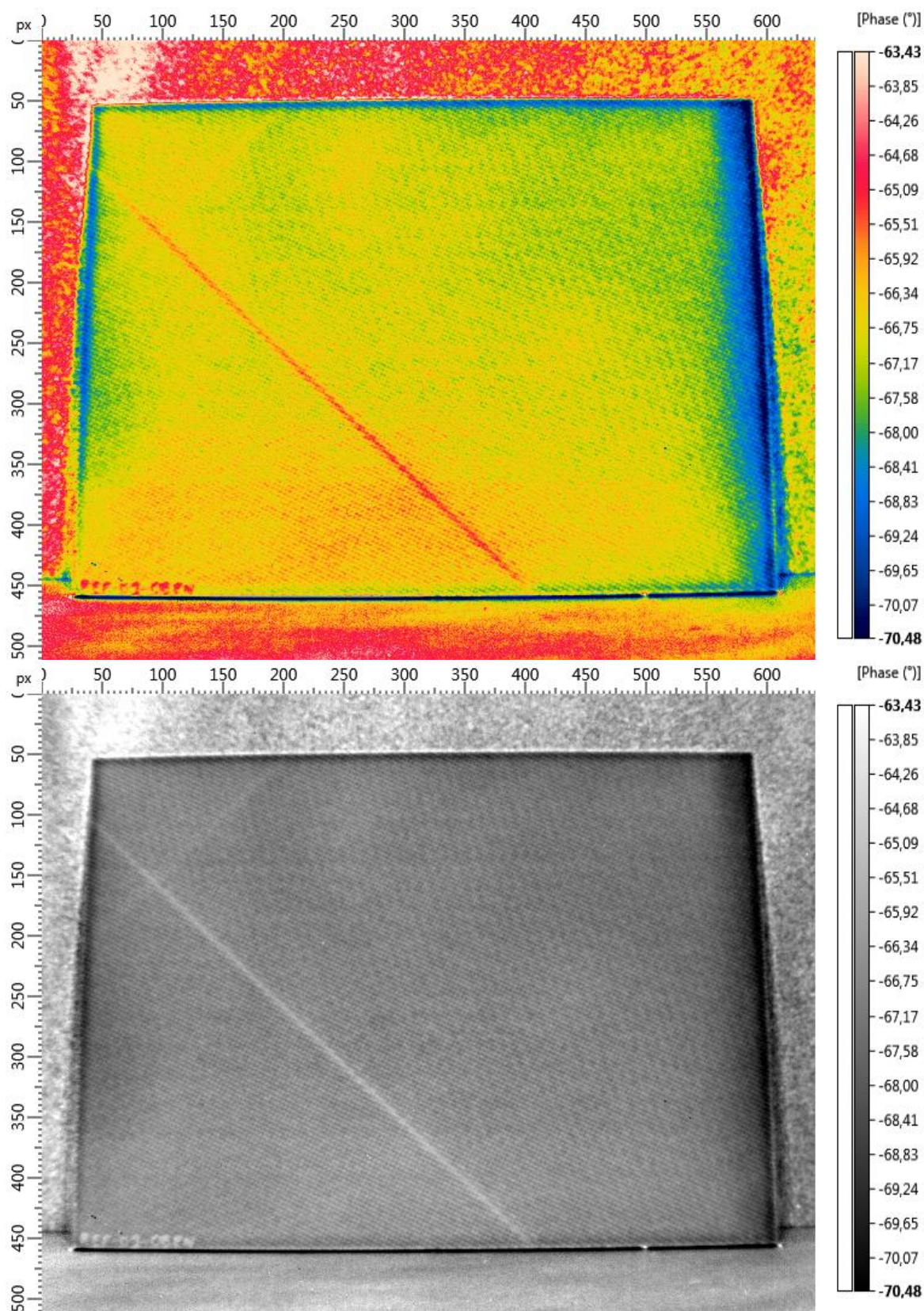
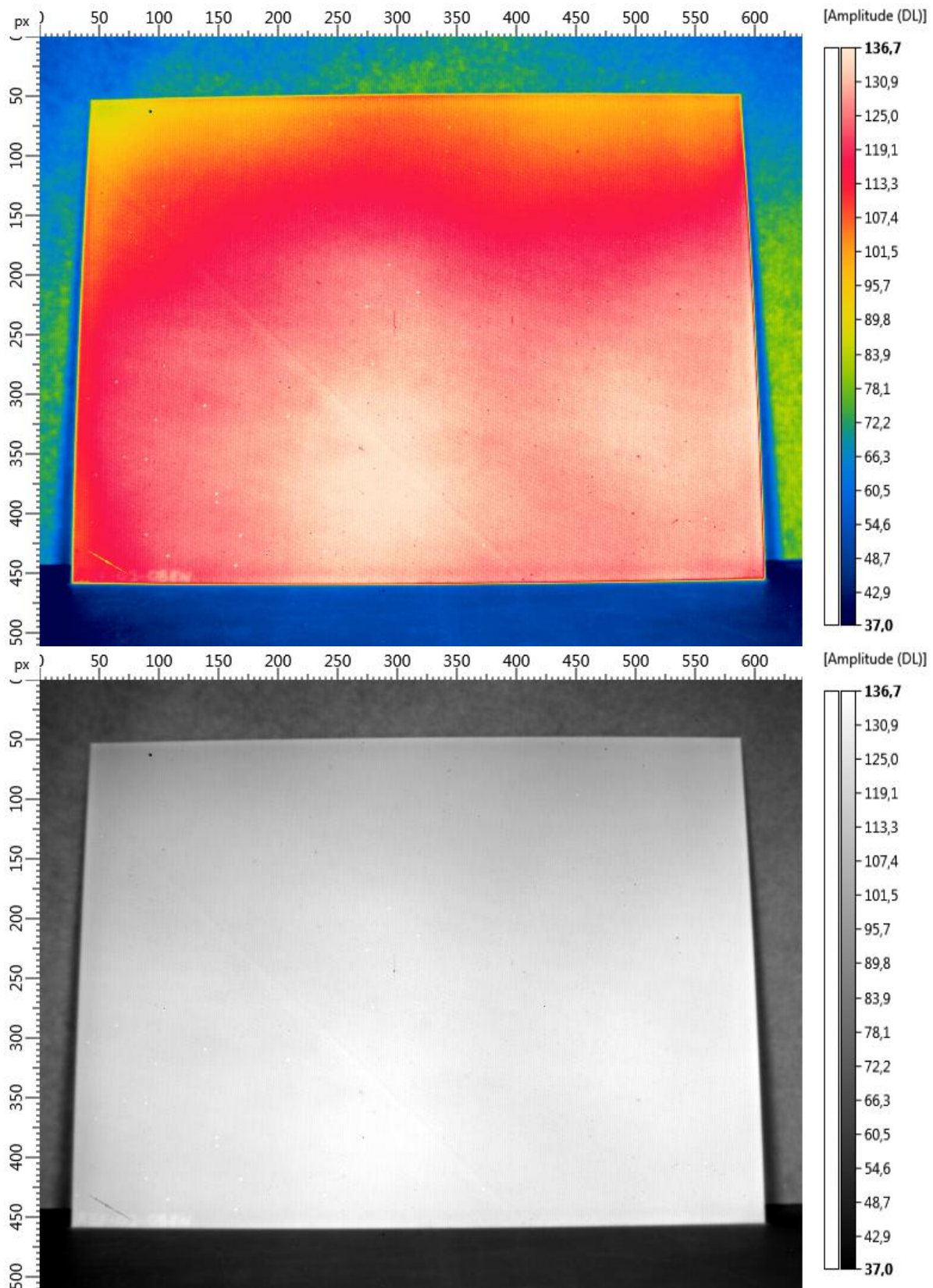


Abbildung 36: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.4.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





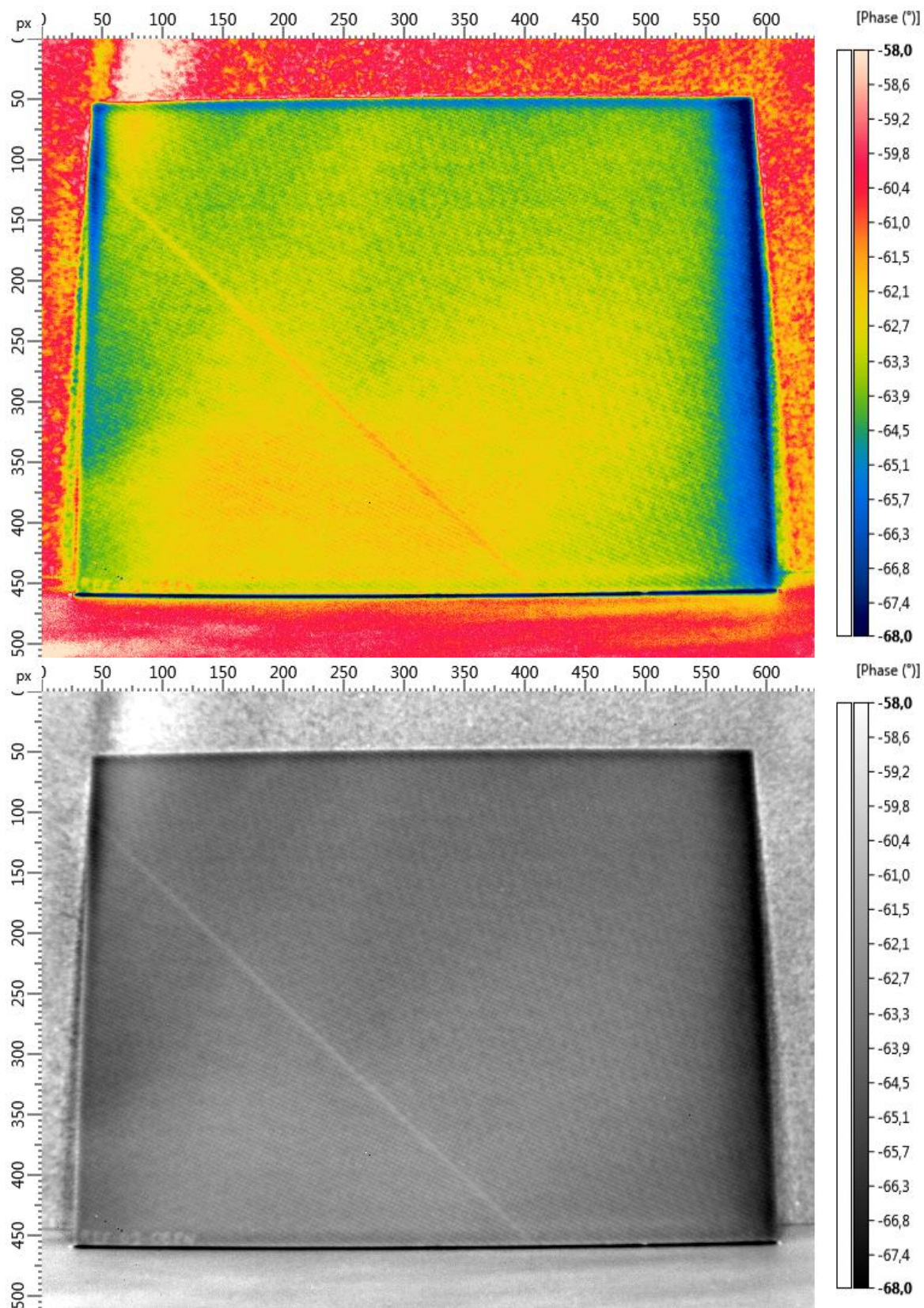
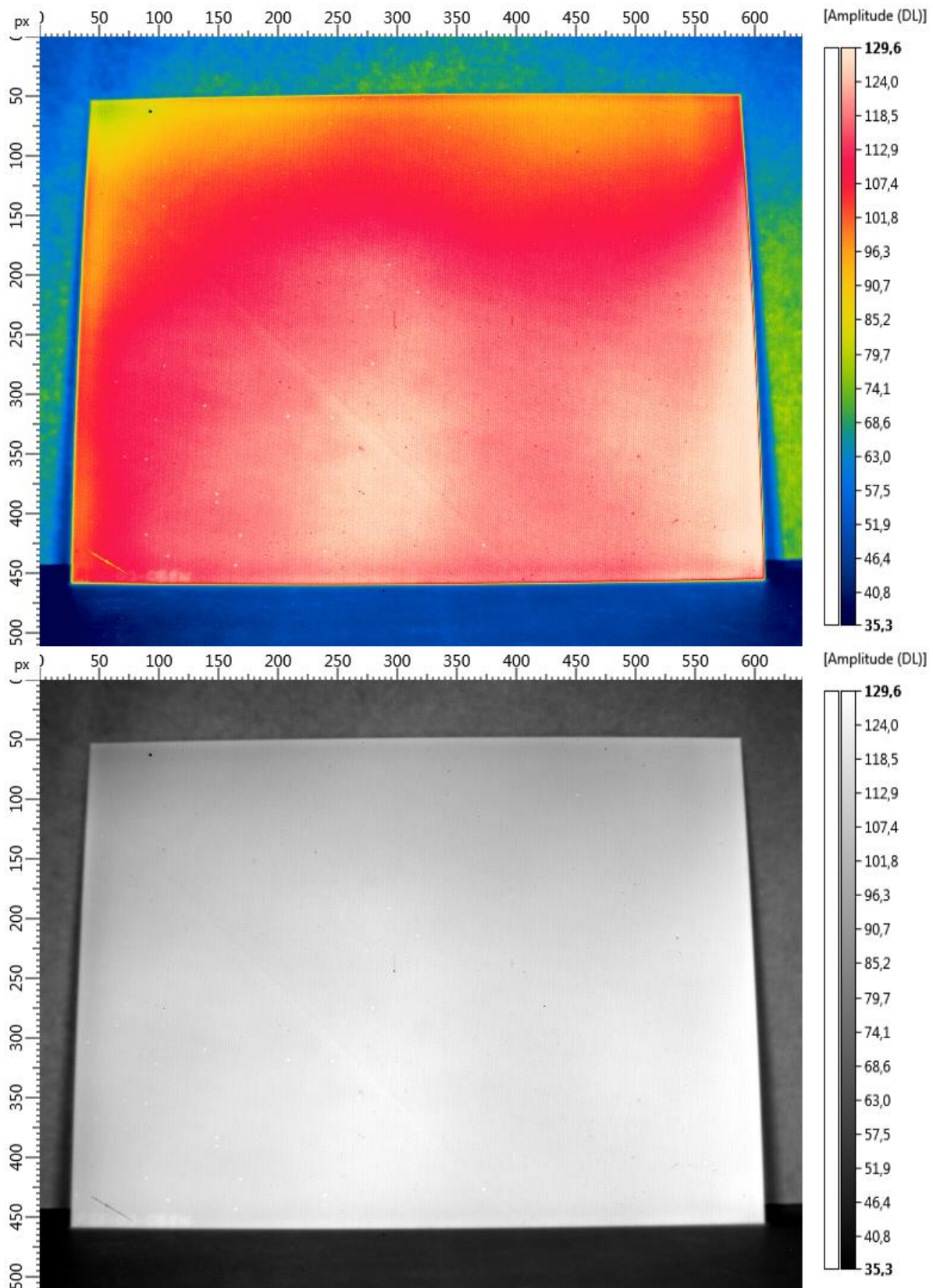


Abbildung 37: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

#### 4.4.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





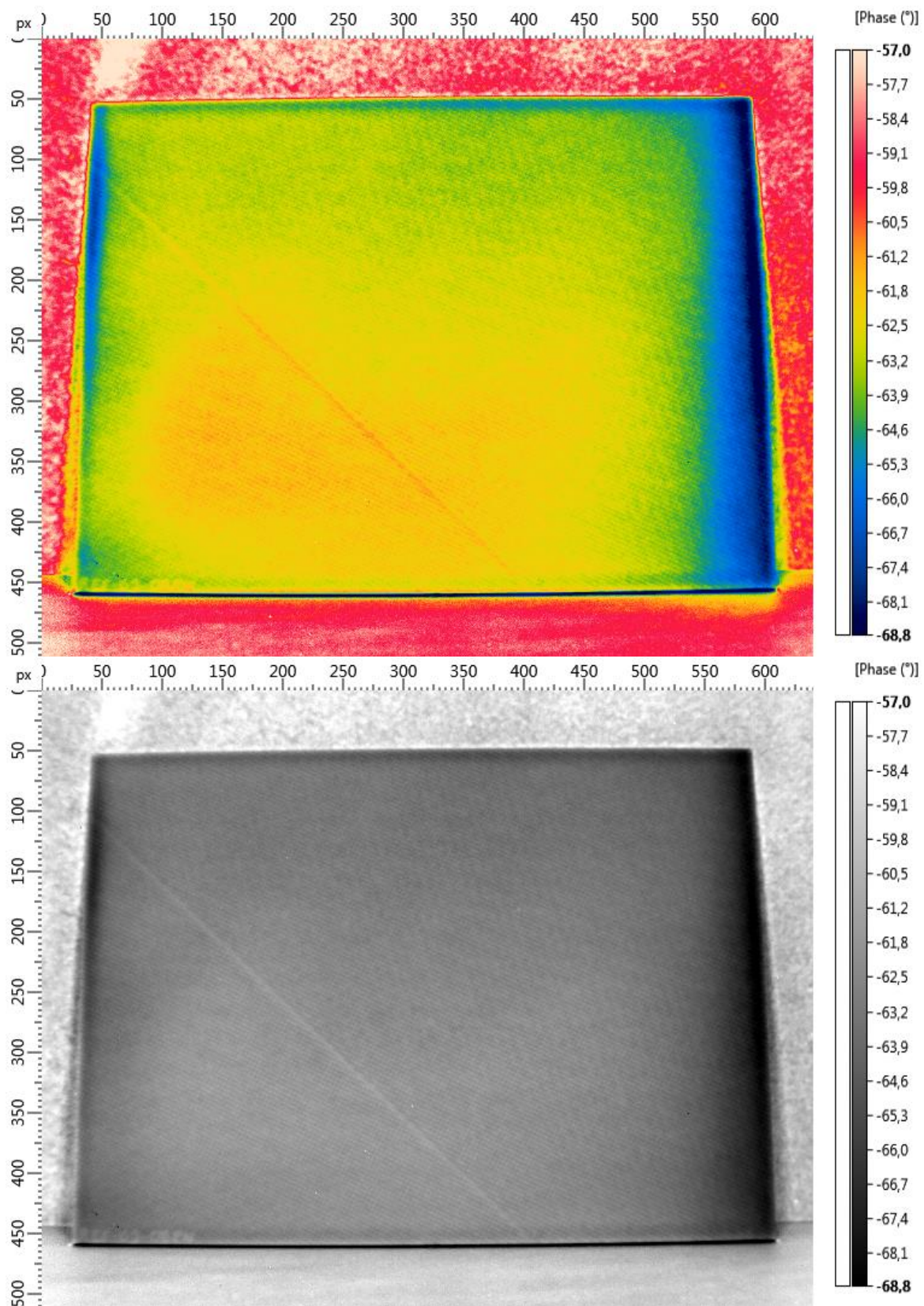
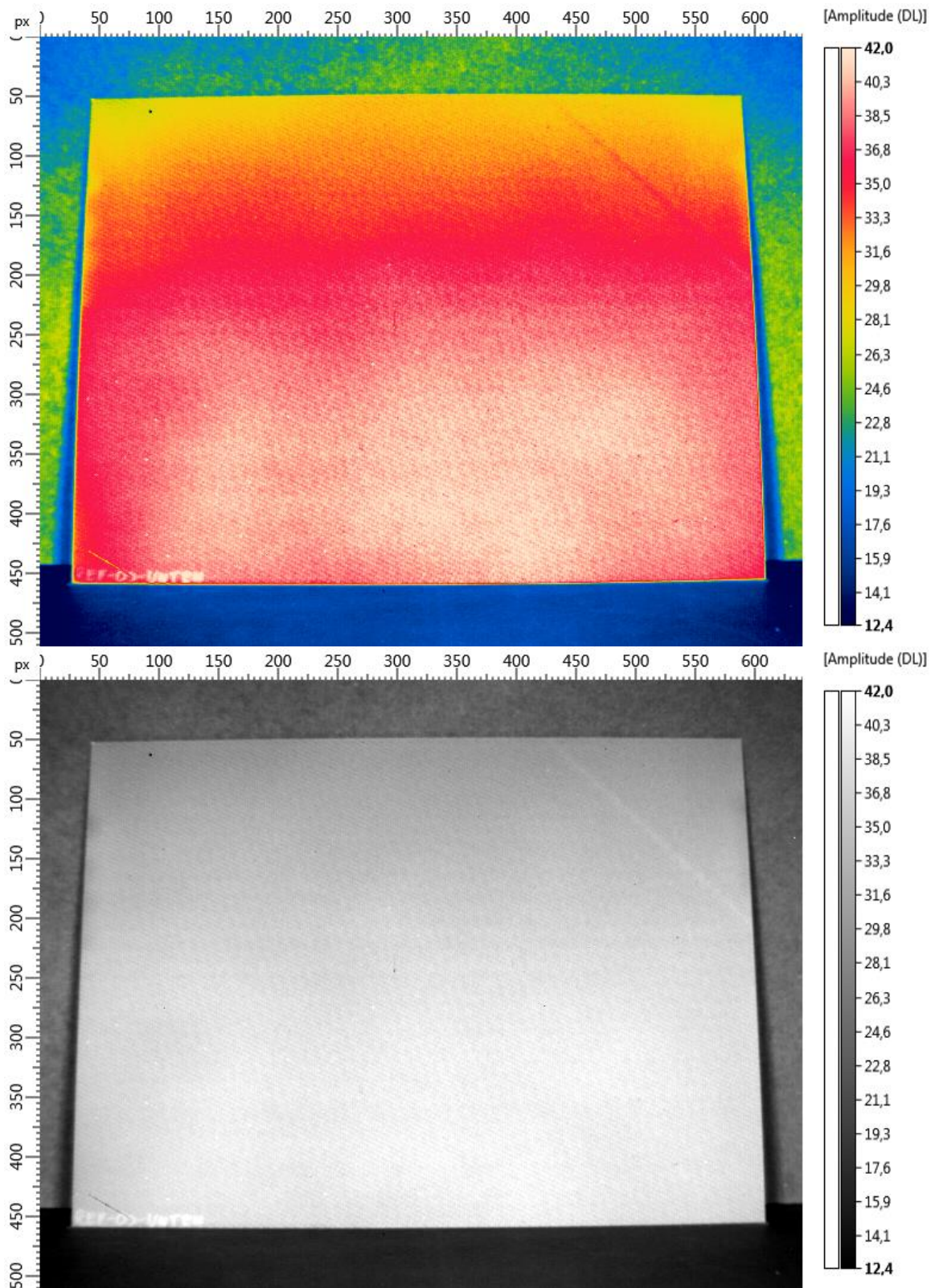


Abbildung 38: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.4.2. Messungen von UNTEN

### 4.4.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





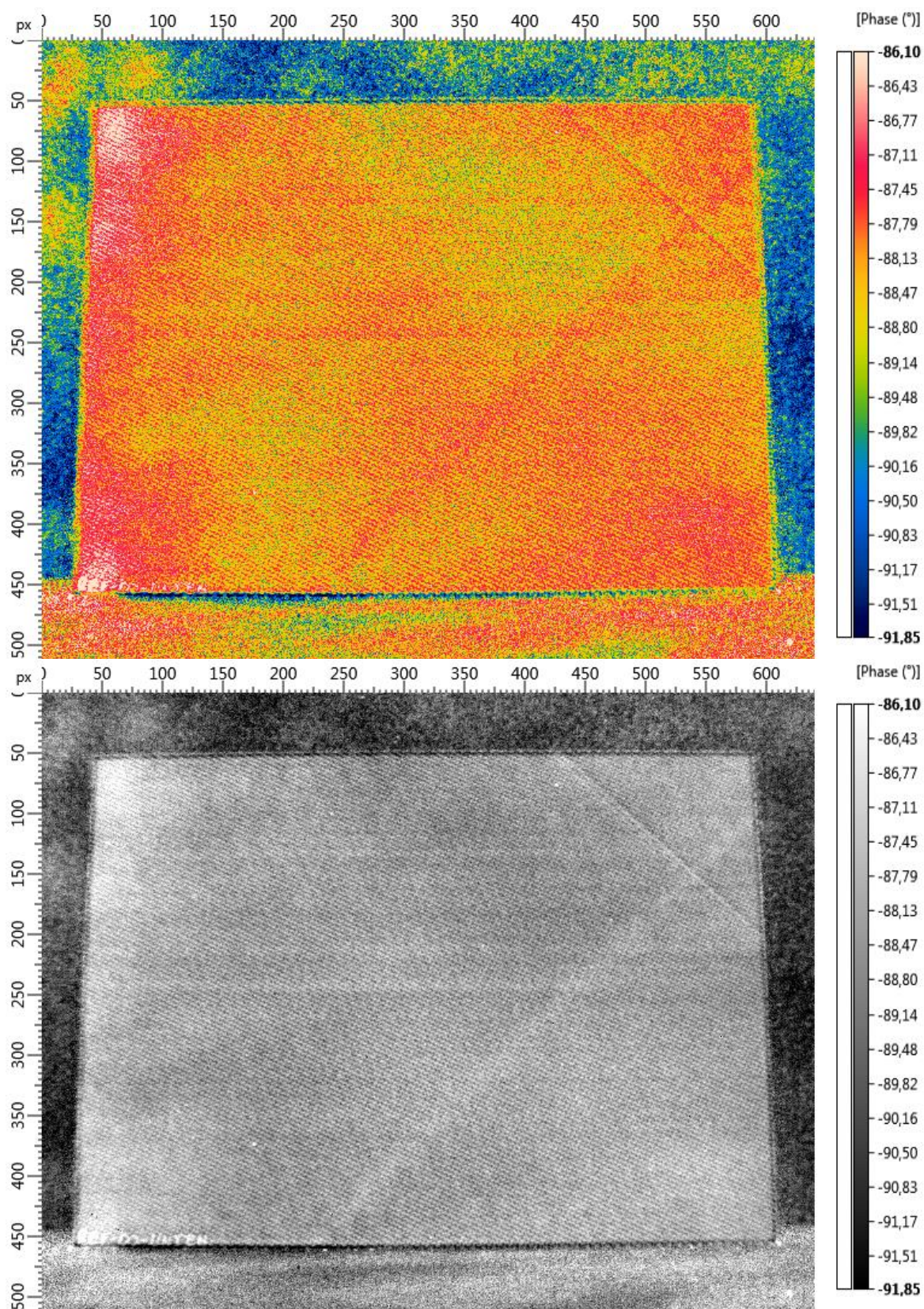
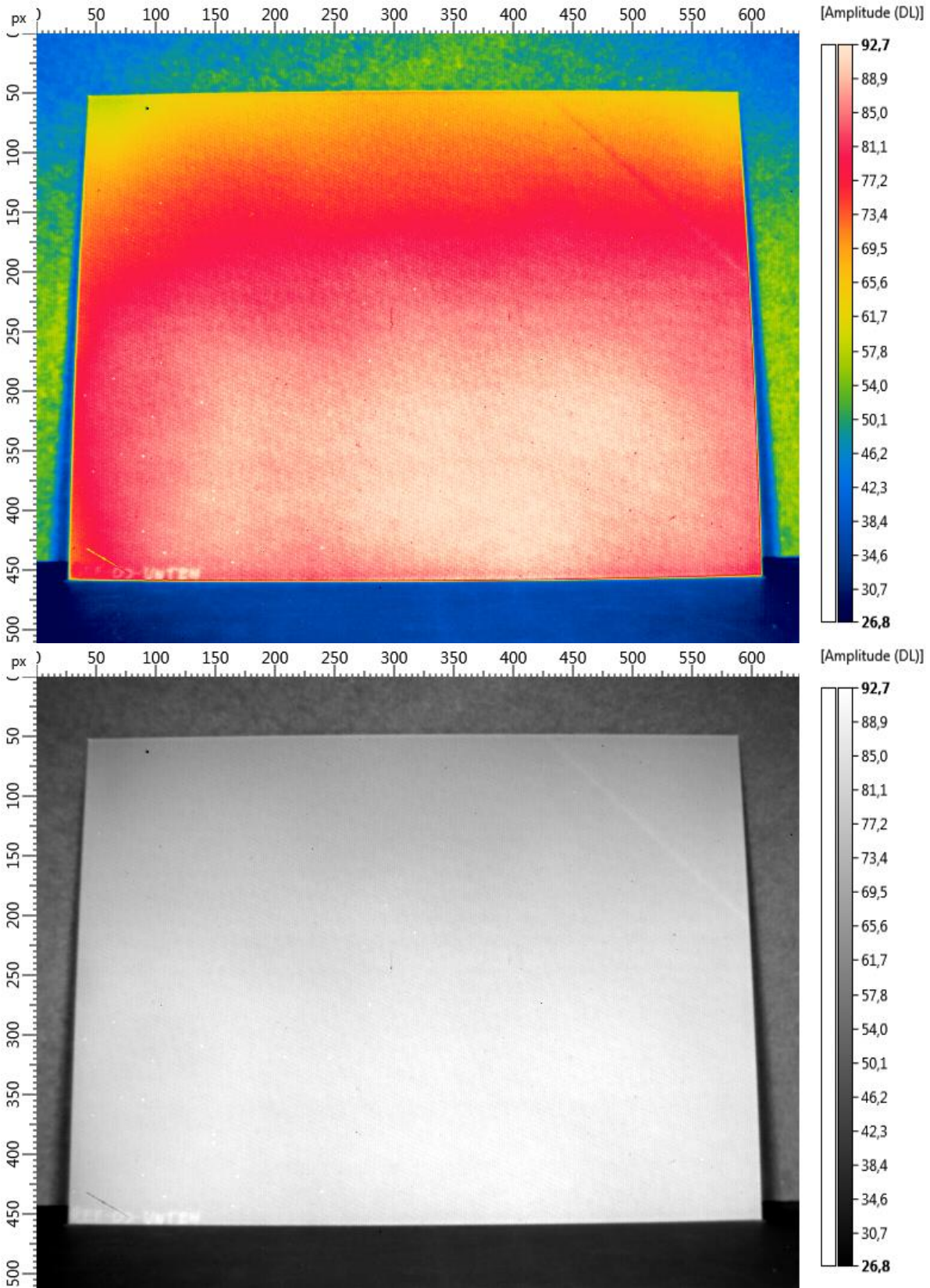


Abbildung 39: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



4.4.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





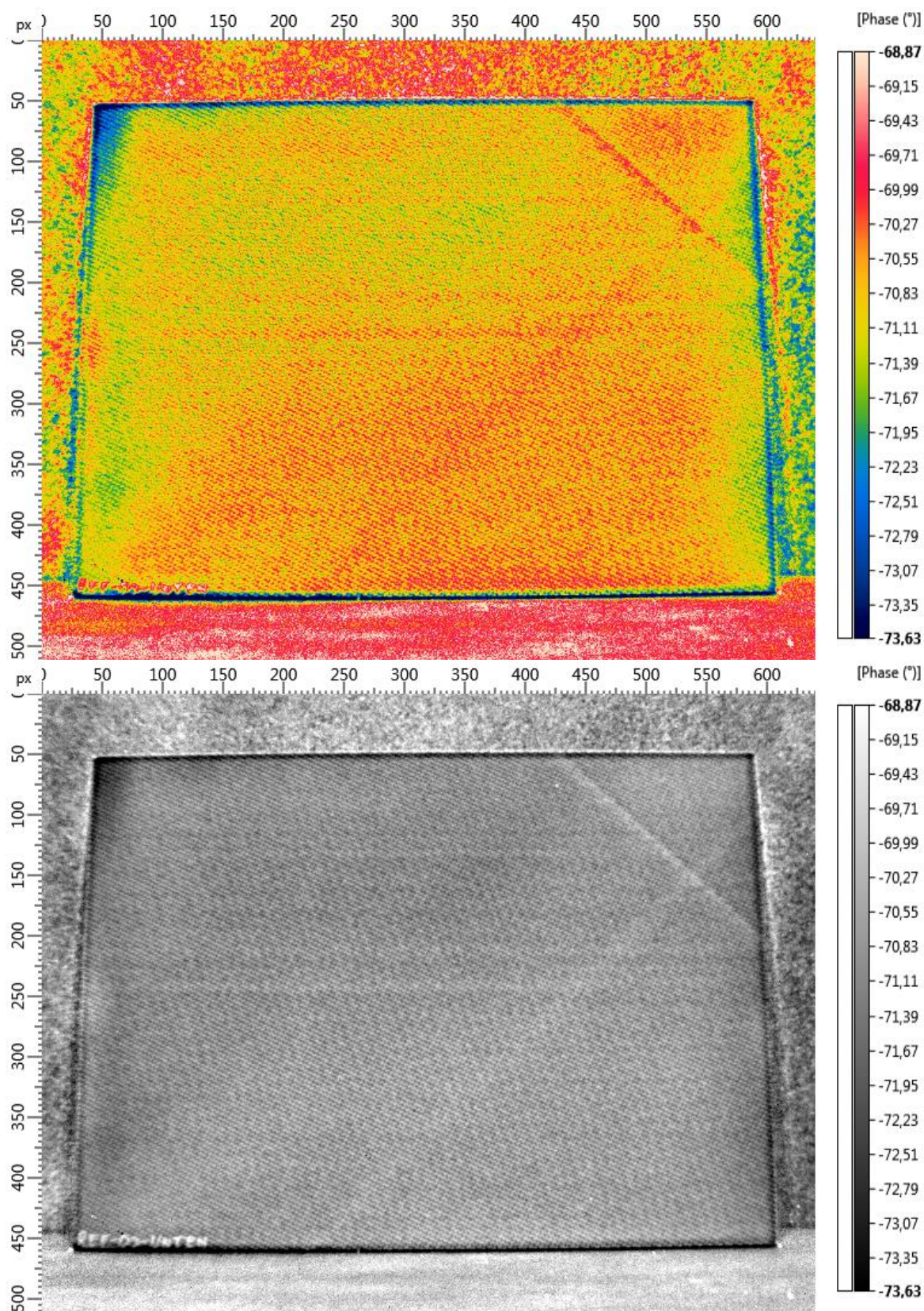
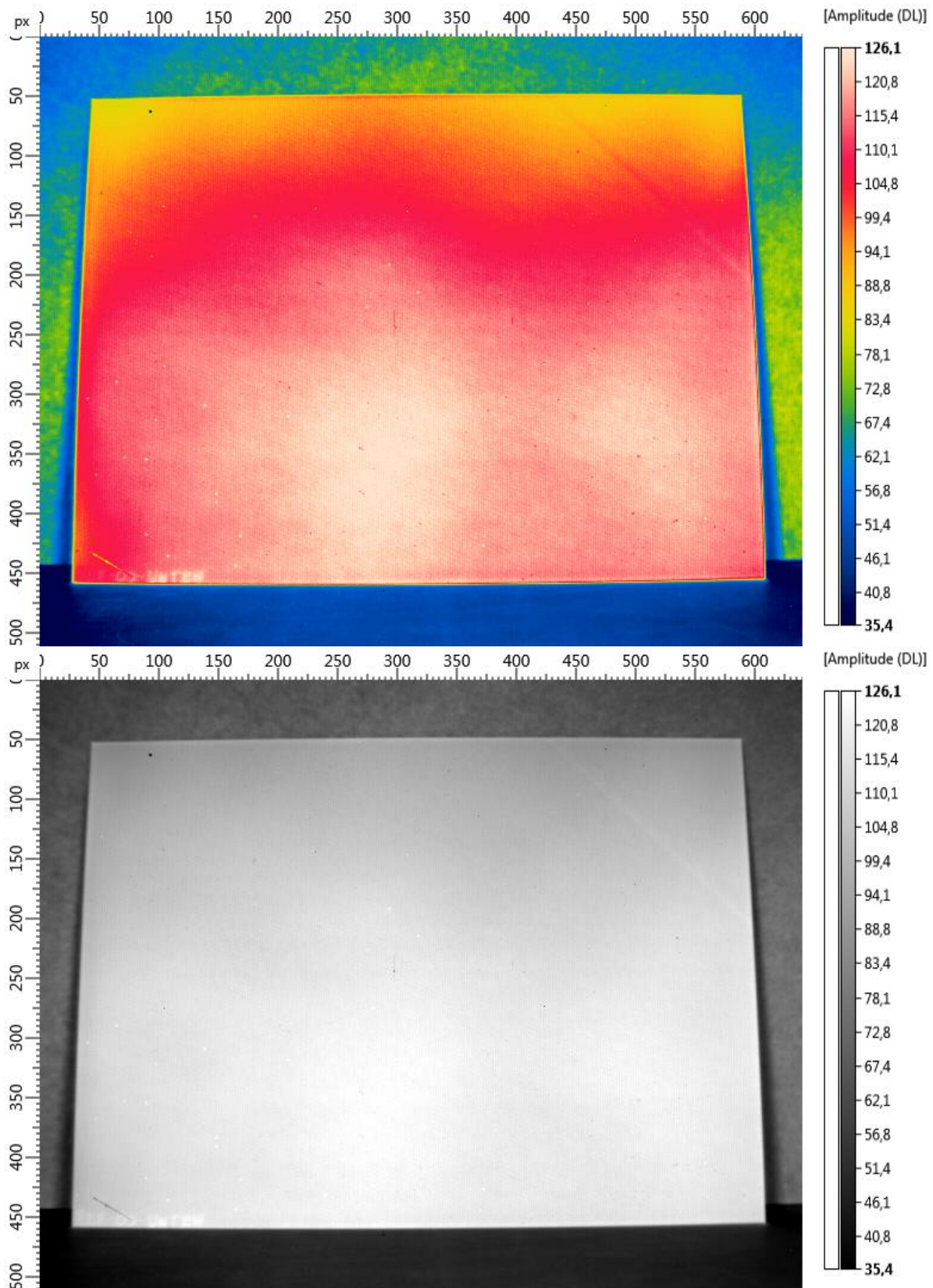


Abbildung 40: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



#### 4.4.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





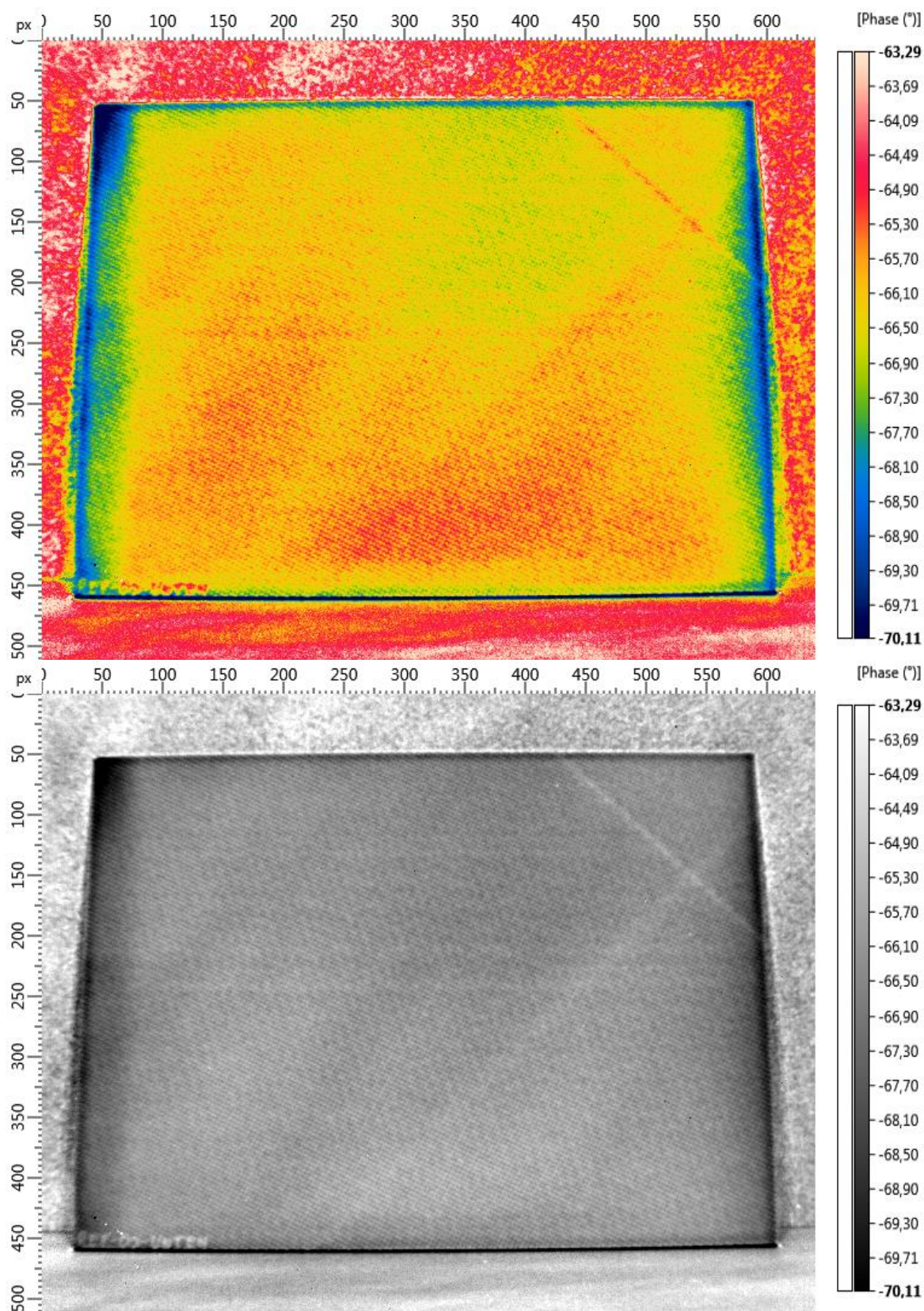
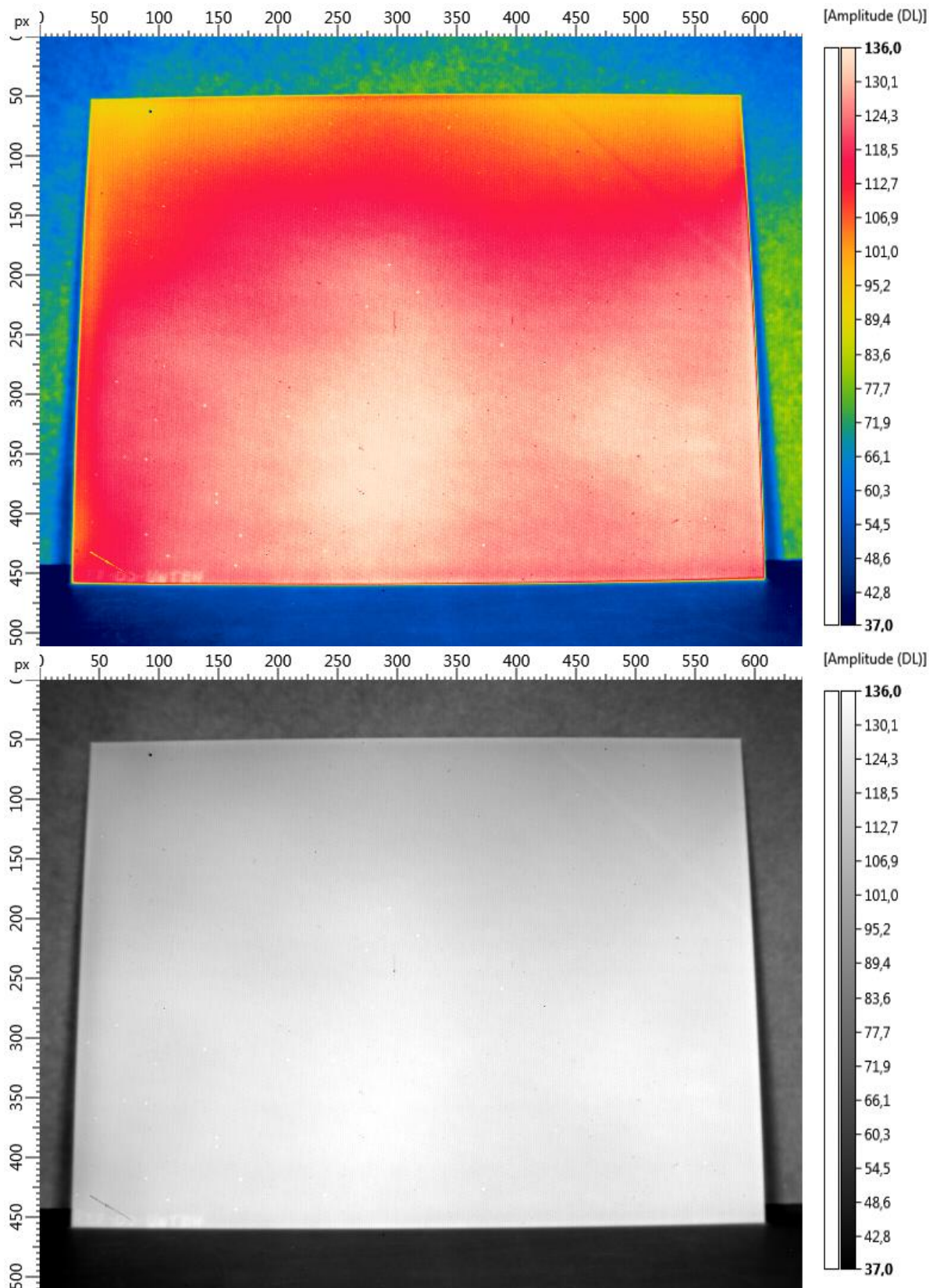


Abbildung 41: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.4.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





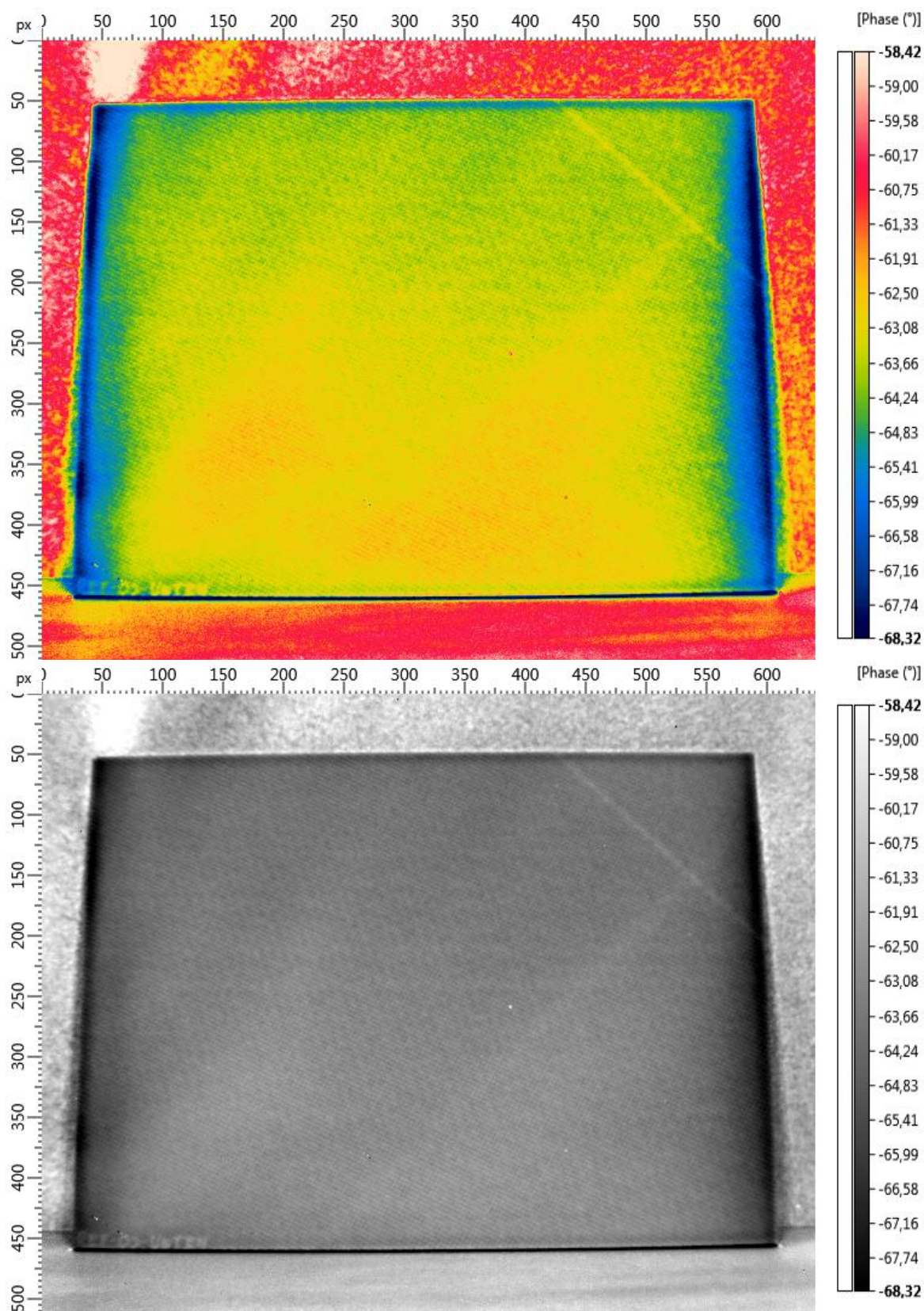
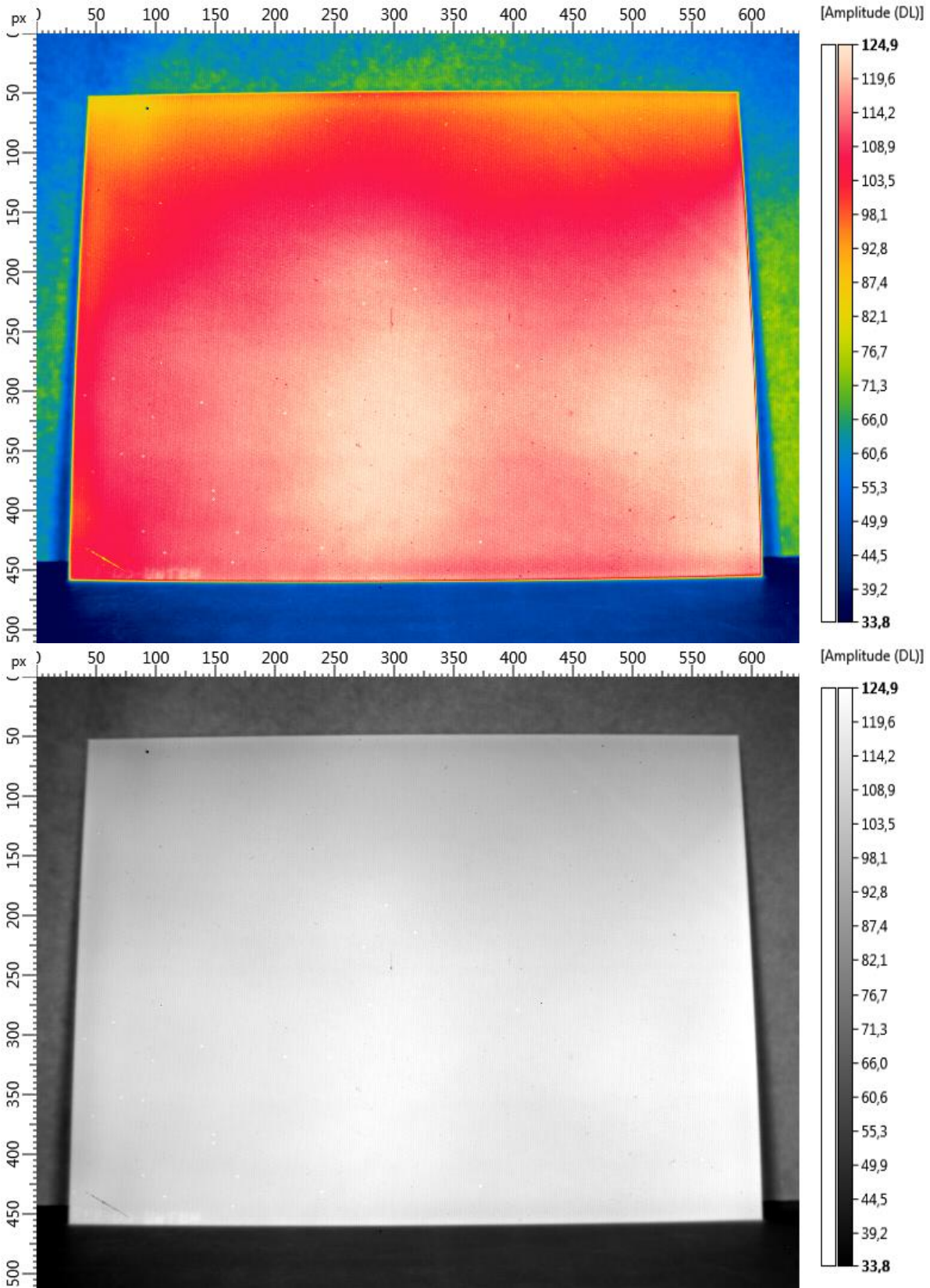


Abbildung 42: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

**4.4.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm**





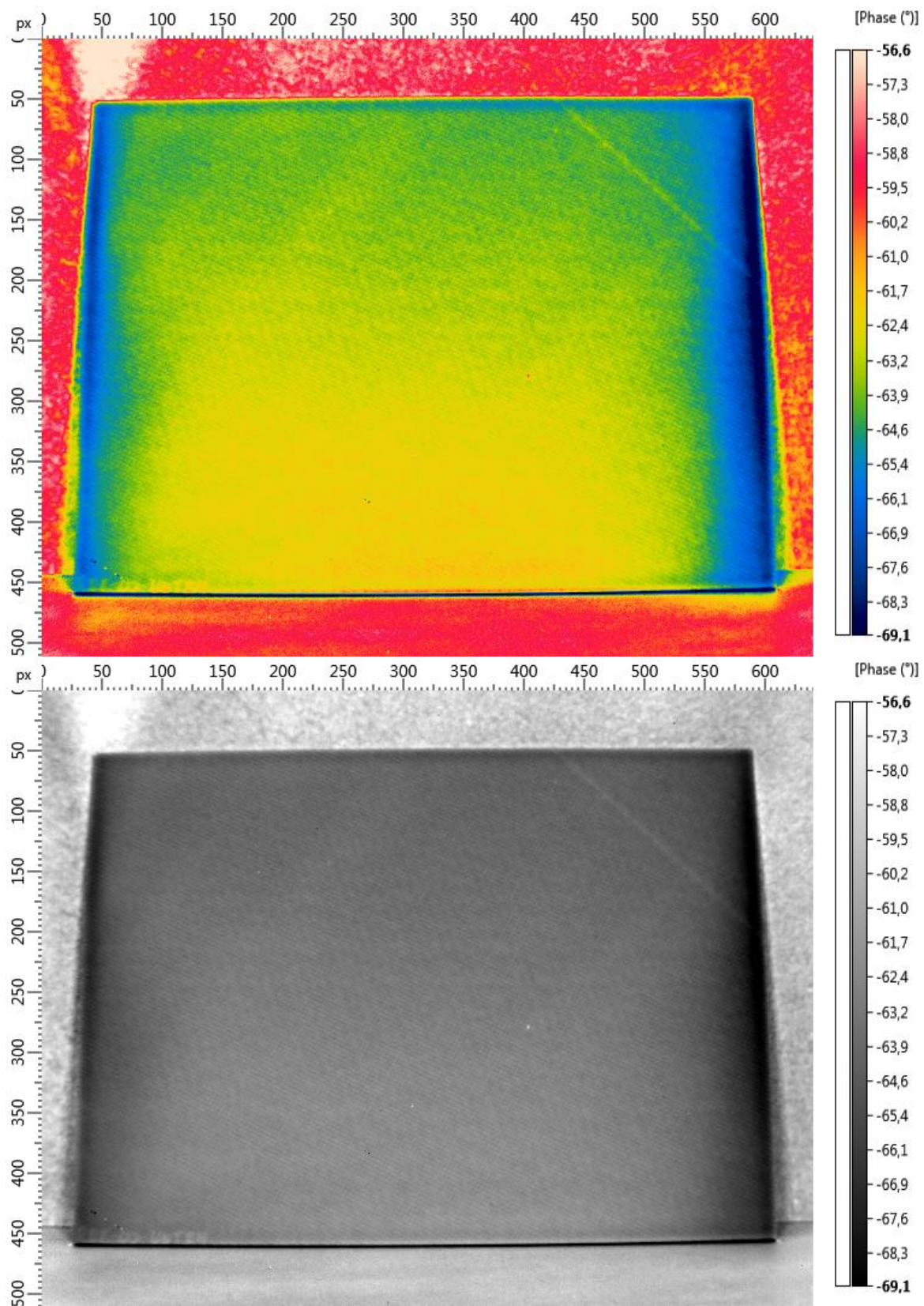


Abbildung 43: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

#### 4.4.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der rechten Seite ein ca. 44 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 39 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 39 mm auf der linken Seite erkennbar. Ebenso ist OBEN und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei der Messung mit 0,03 Hz bei ca. 2,06 mm Eindringtiefe zeigt sich dieser Streifen am deutlichsten was darauf schließen lässt das die Folie in die Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



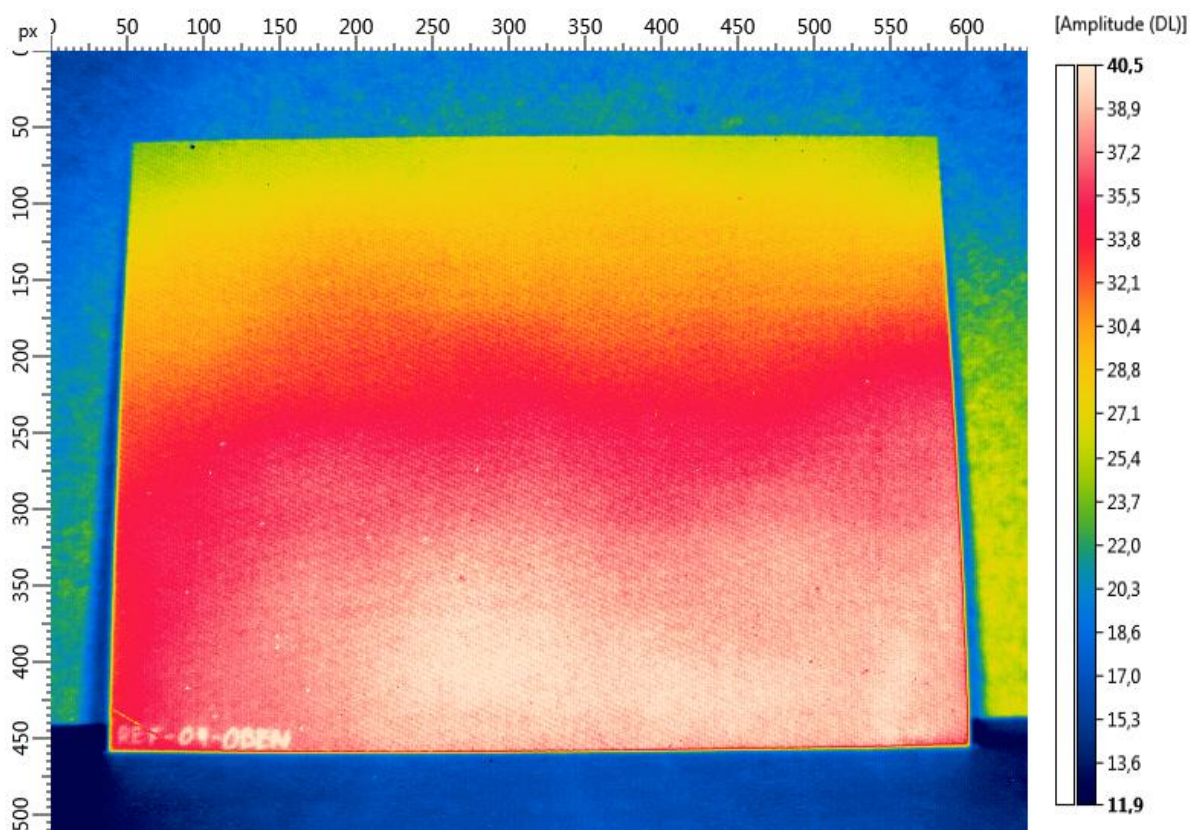
## 4.5. REF-04

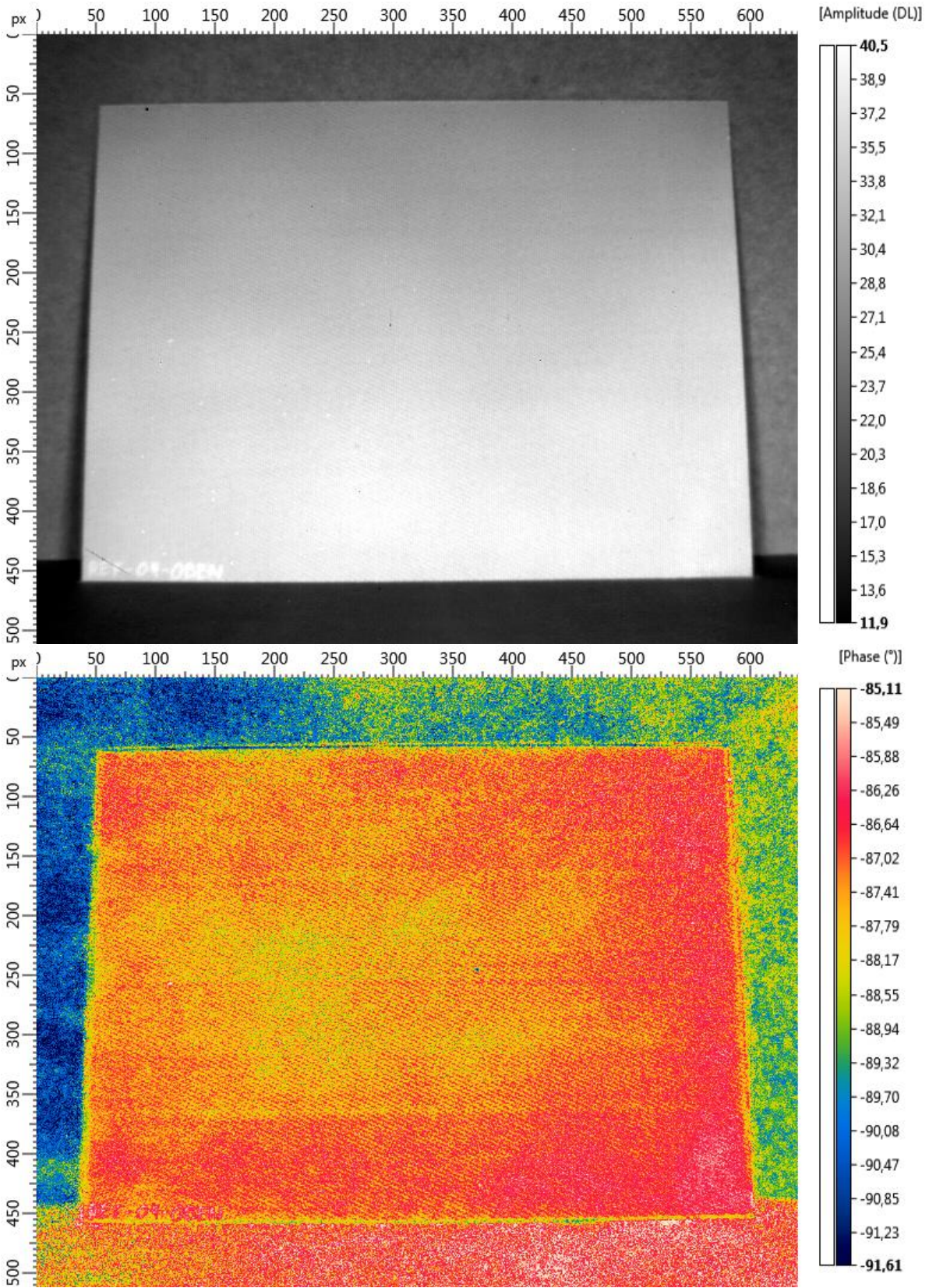
Tabelle 5: Dickenmessung REF-04

3,6 mm	3,6 mm
3,6 mm	3,6 mm

### 4.5.1. Messung von OBEN

#### 4.5.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







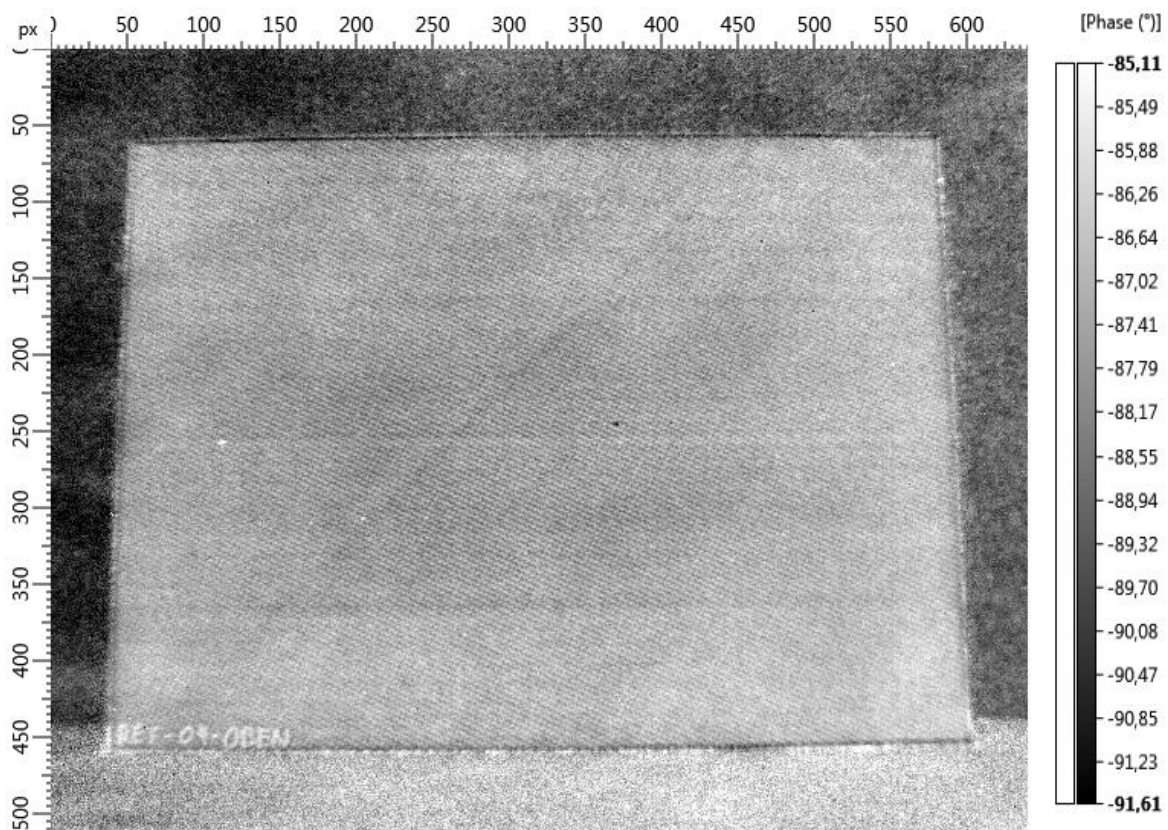
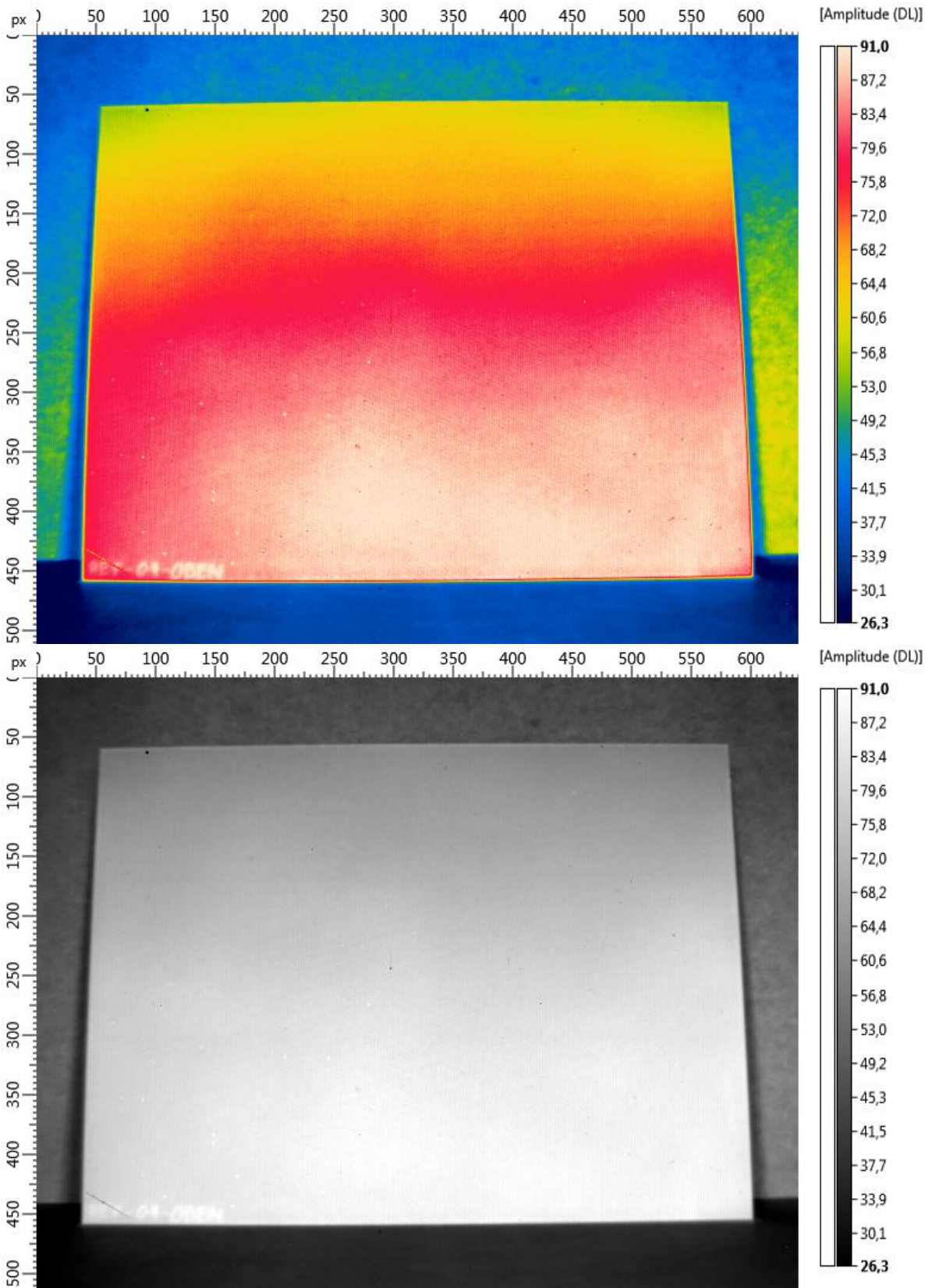


Abbildung 44: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.5.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





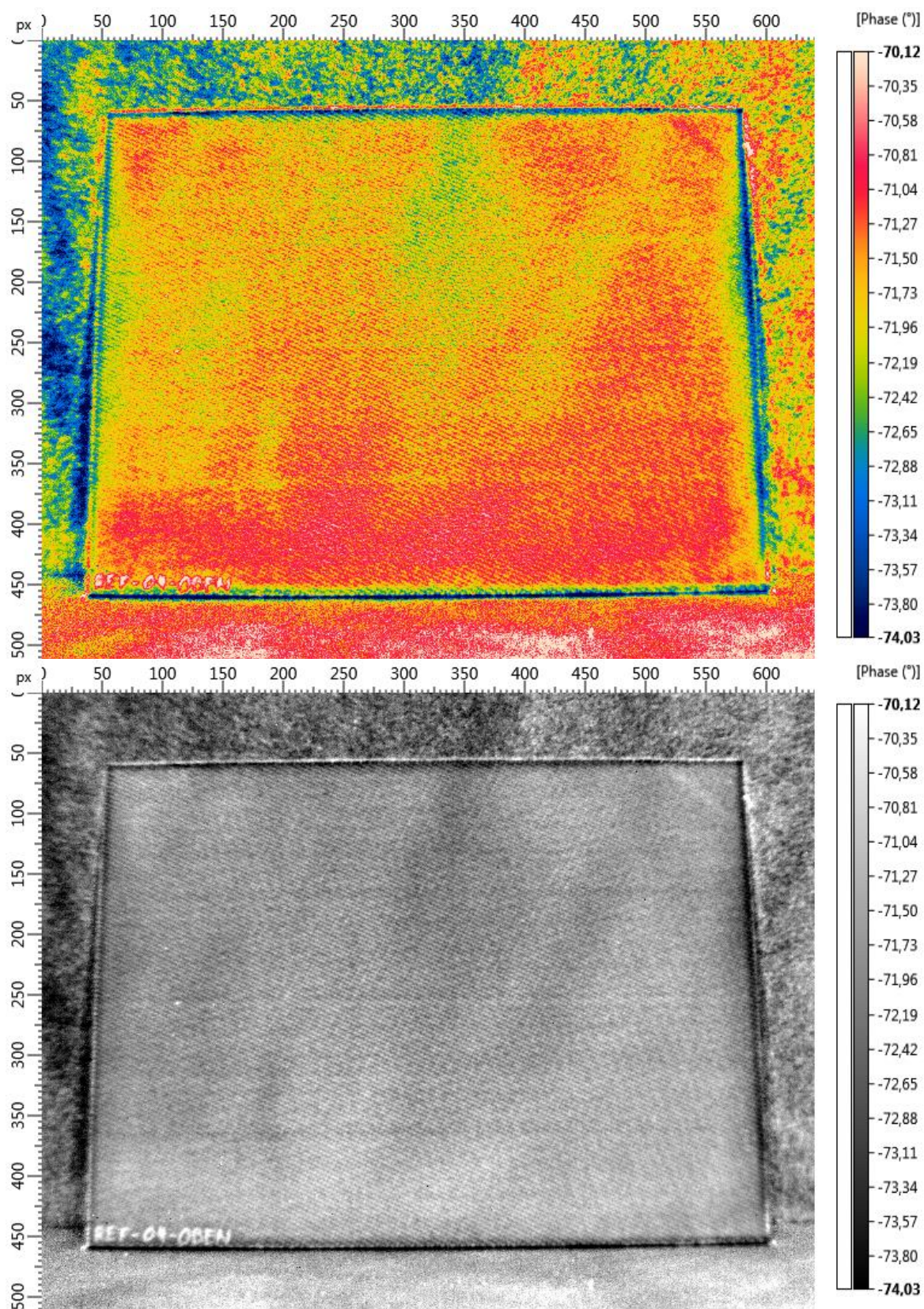
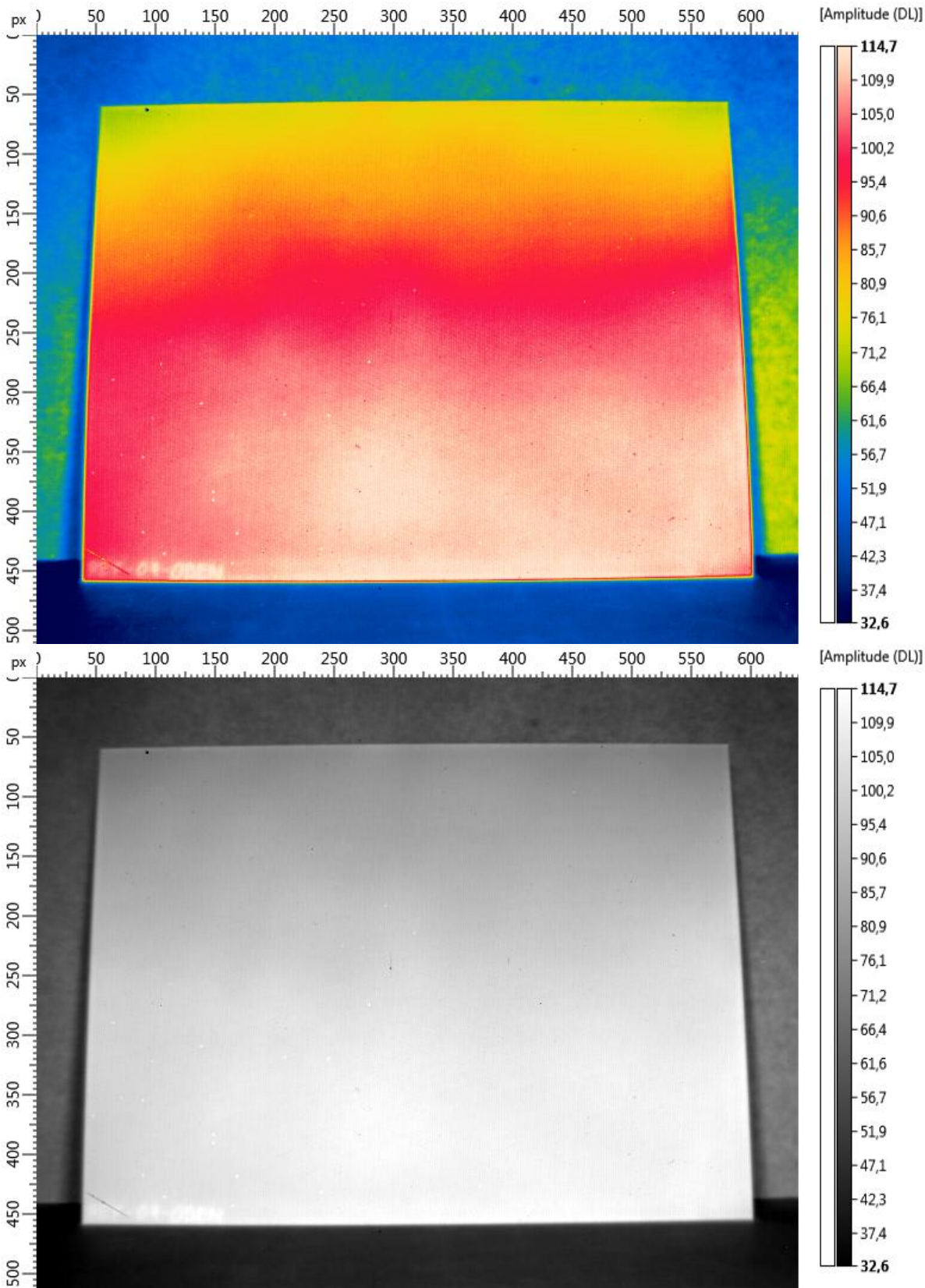


Abbildung 45: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



4.5.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





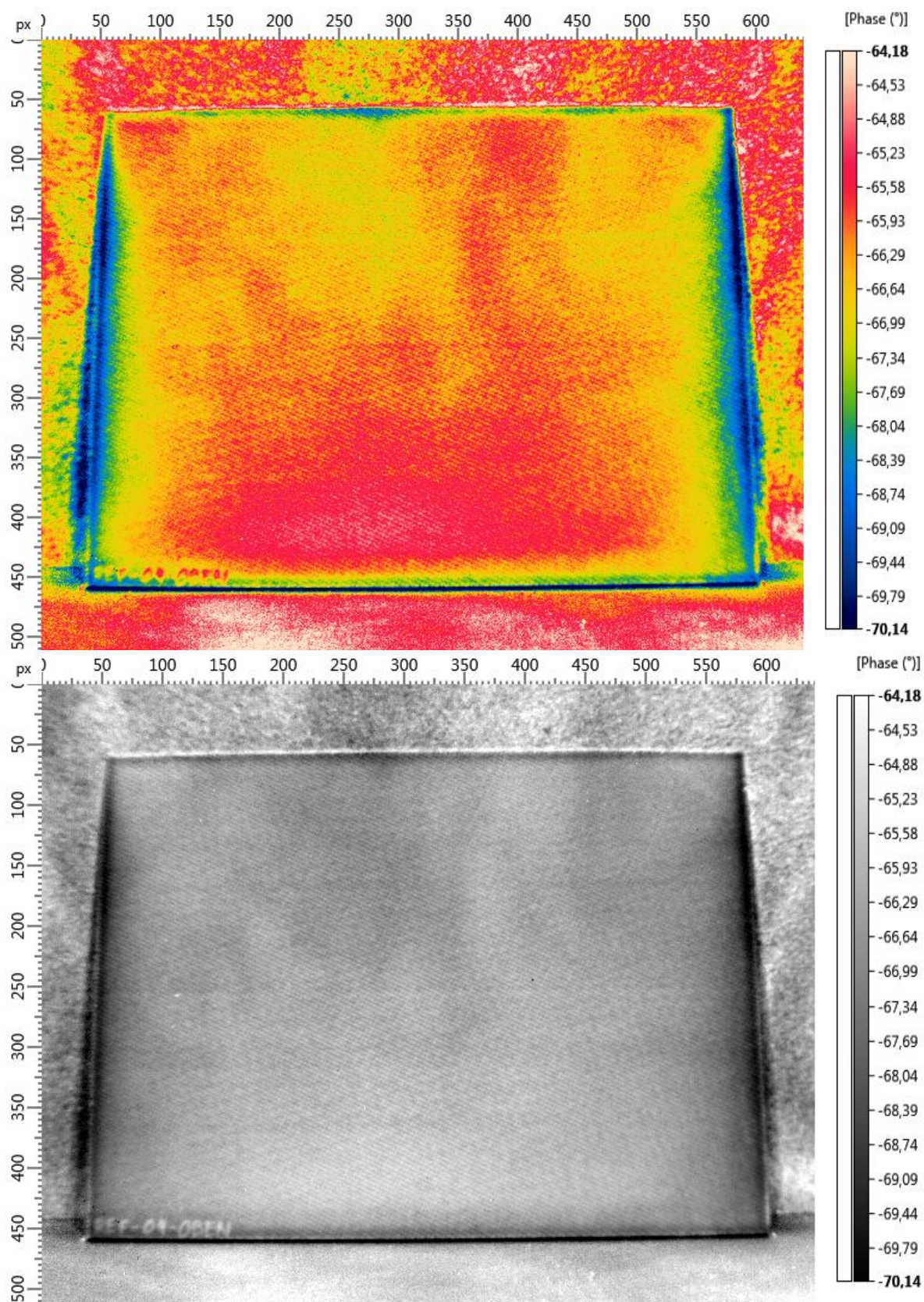
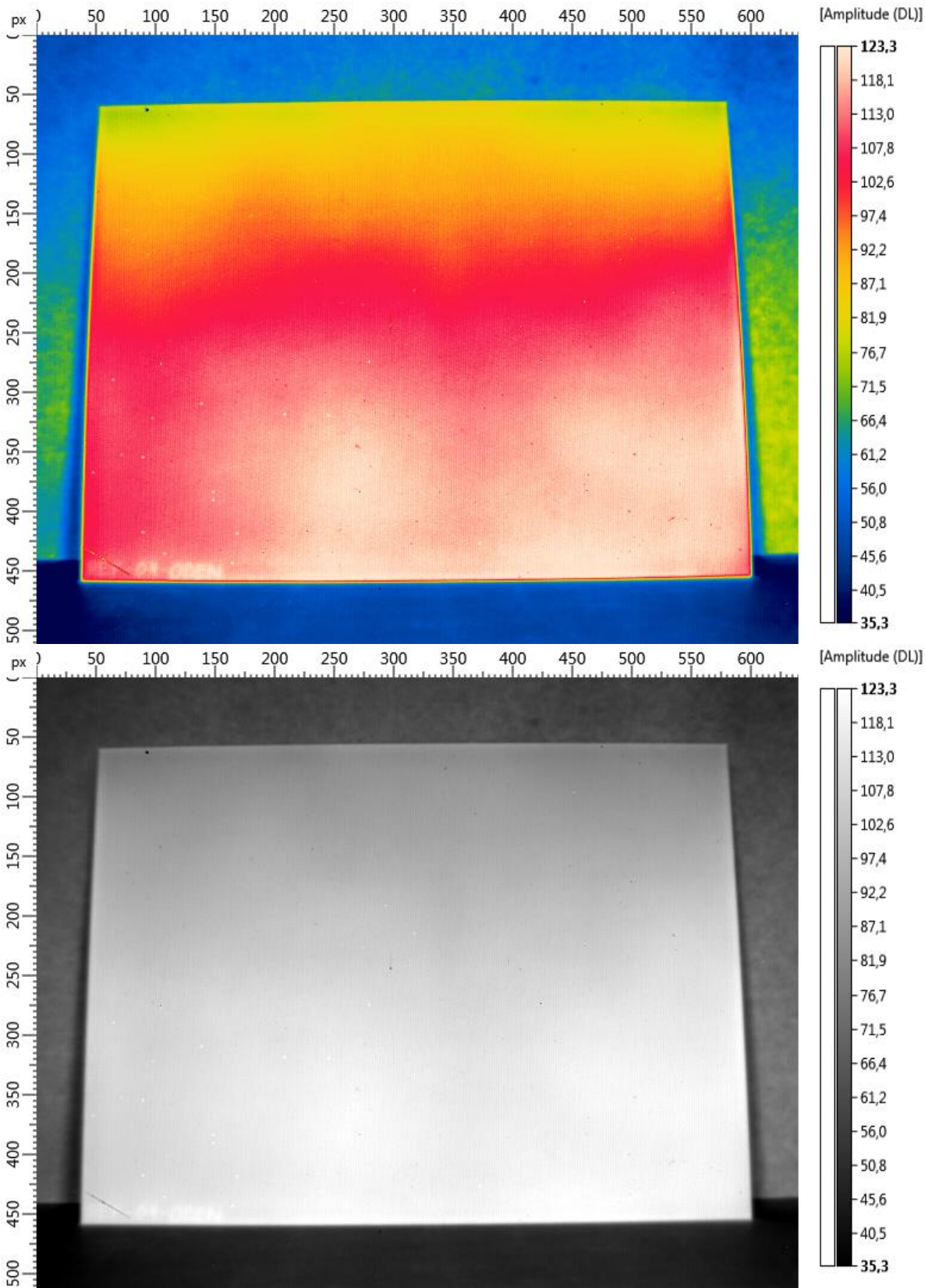


Abbildung 46: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

4.5.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





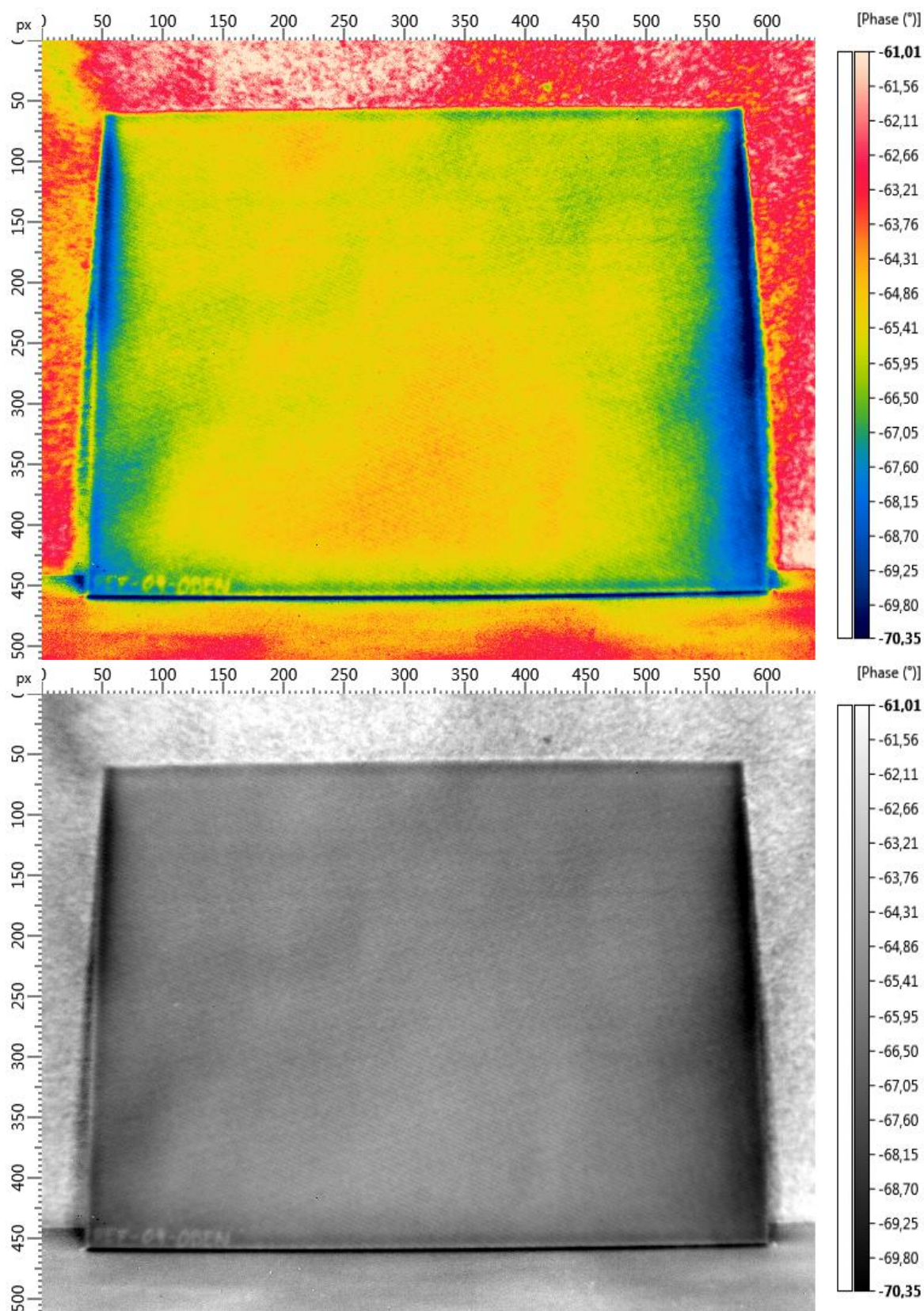
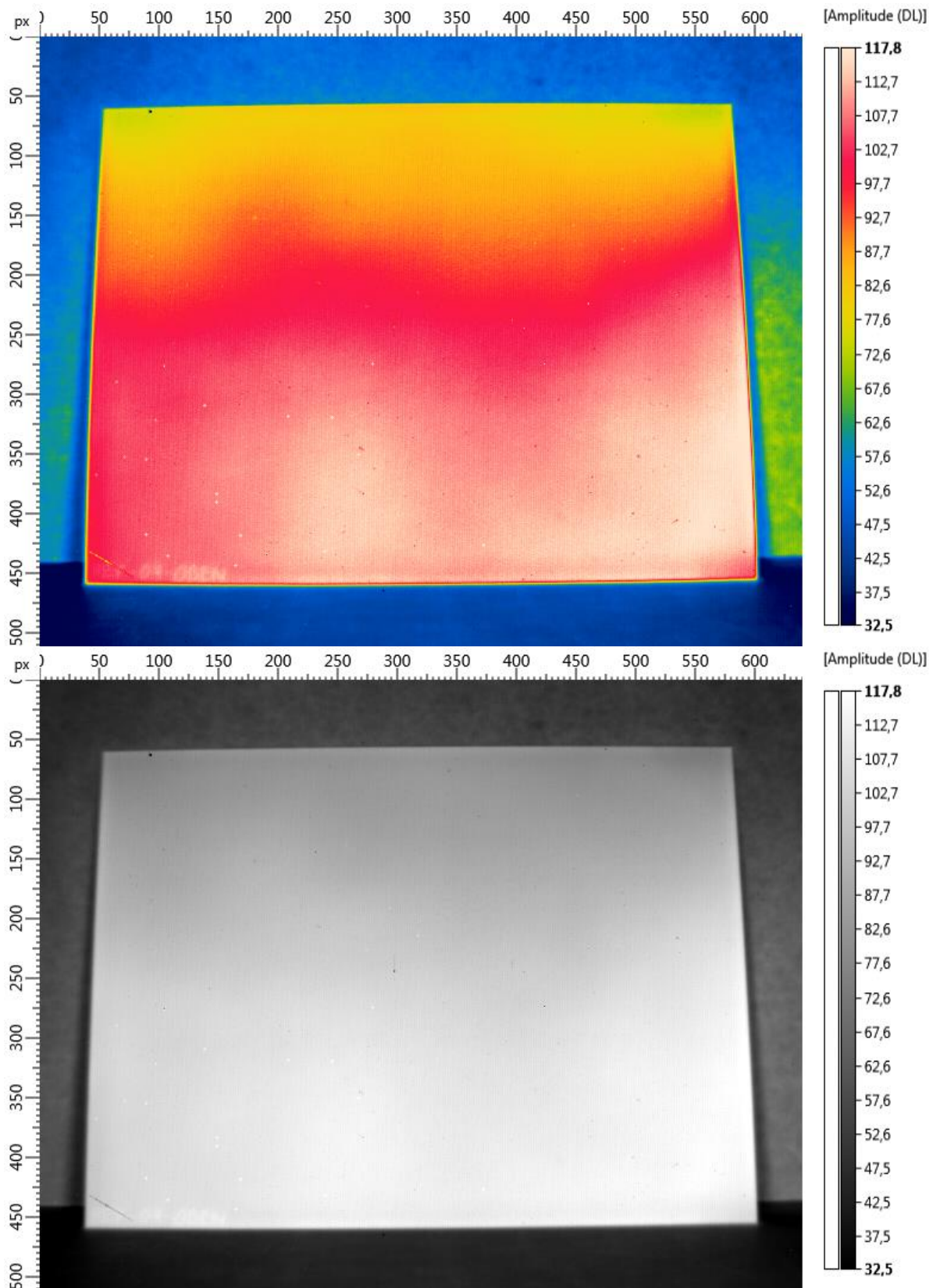


Abbildung 47: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

#### 4.5.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





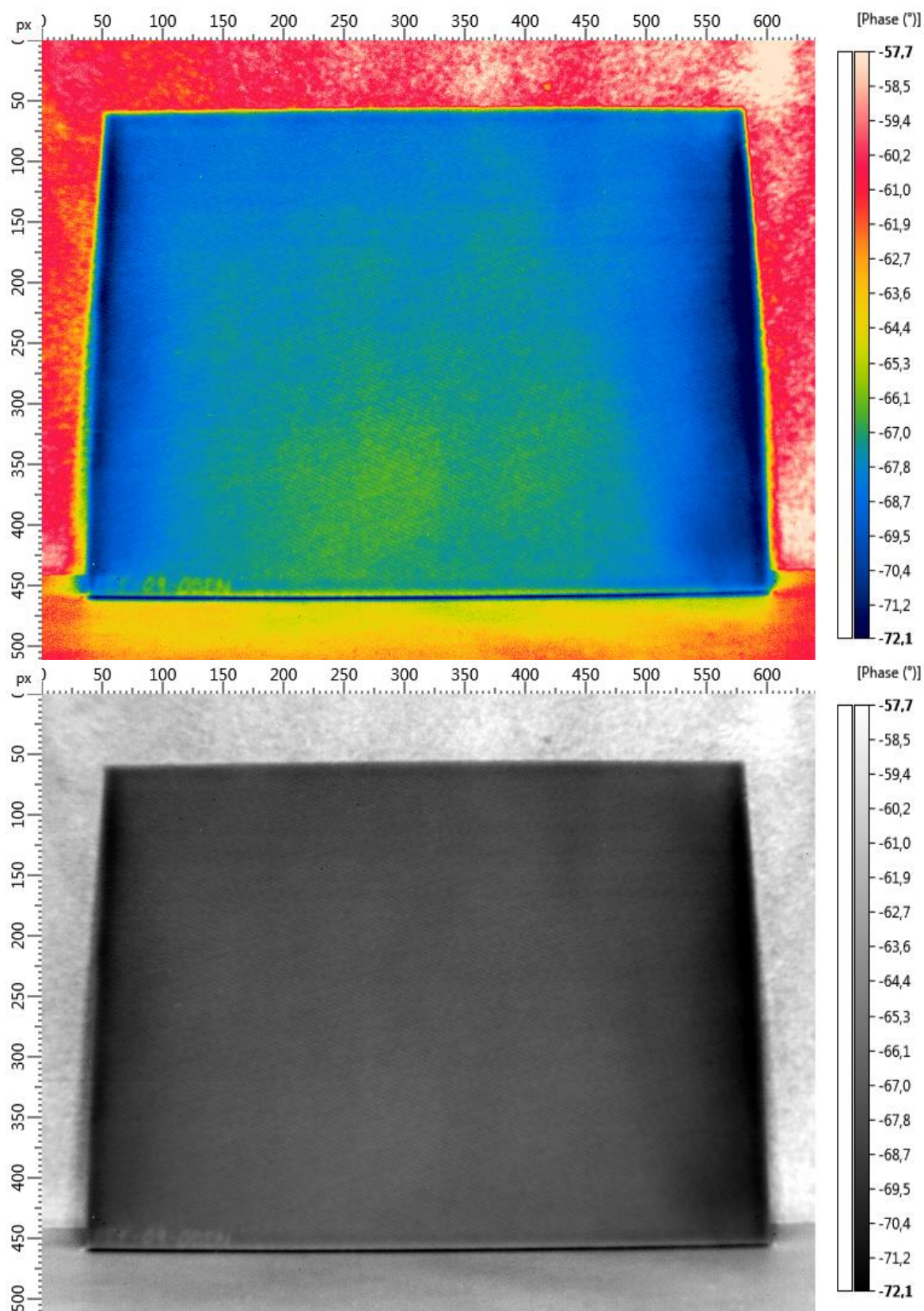
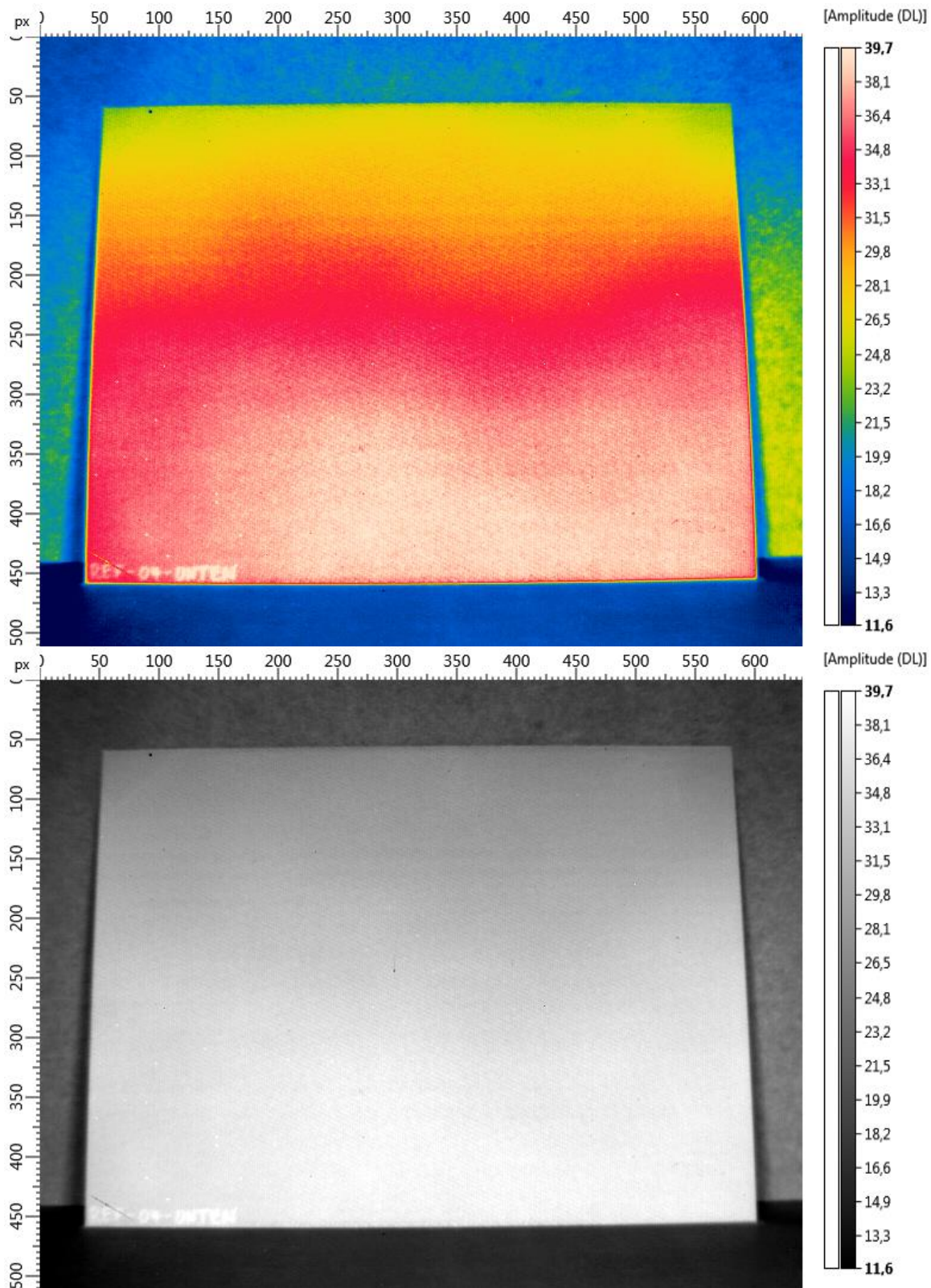


Abbildung 48: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.5.2. Messungen von UNTEN

### 4.5.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





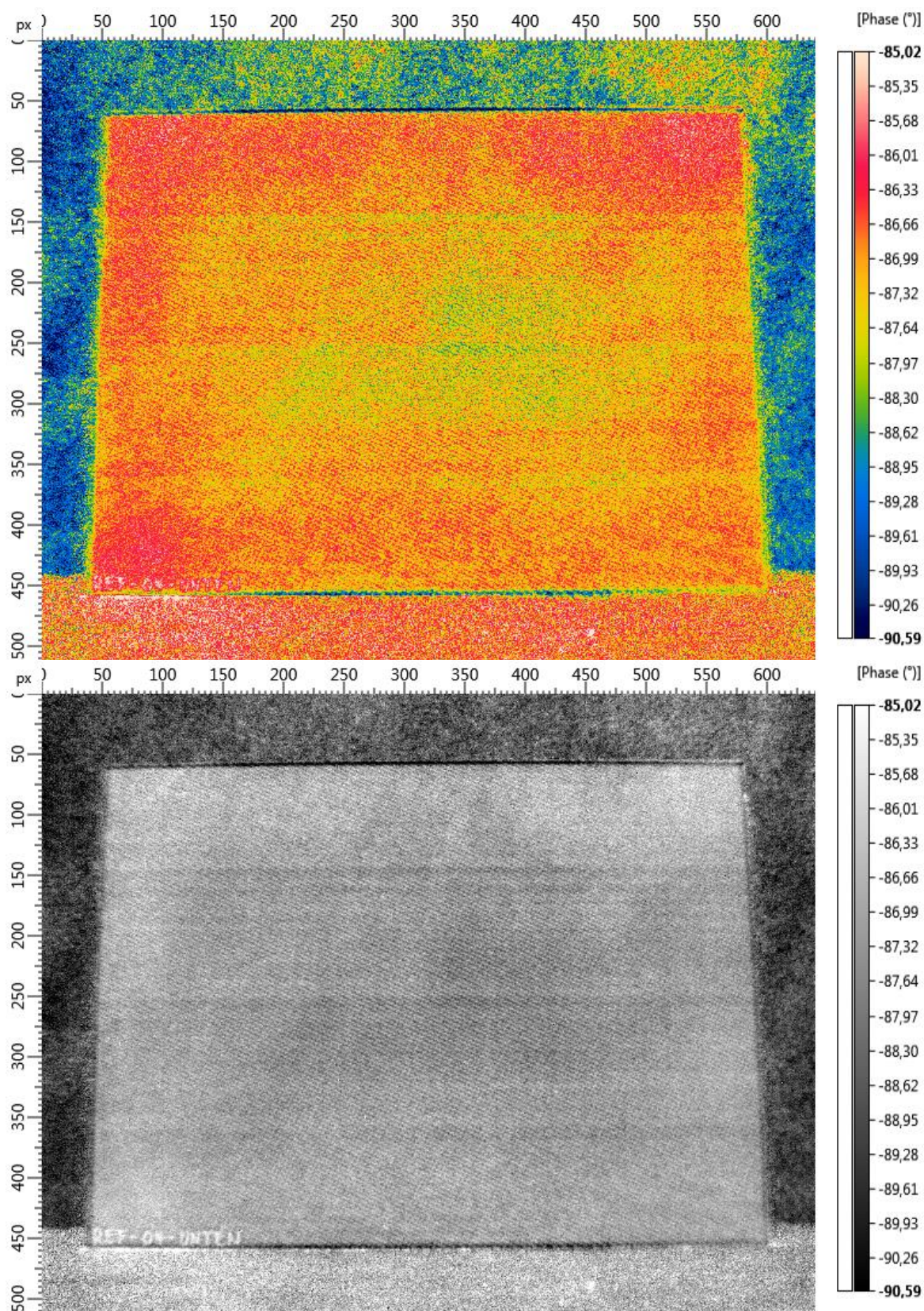
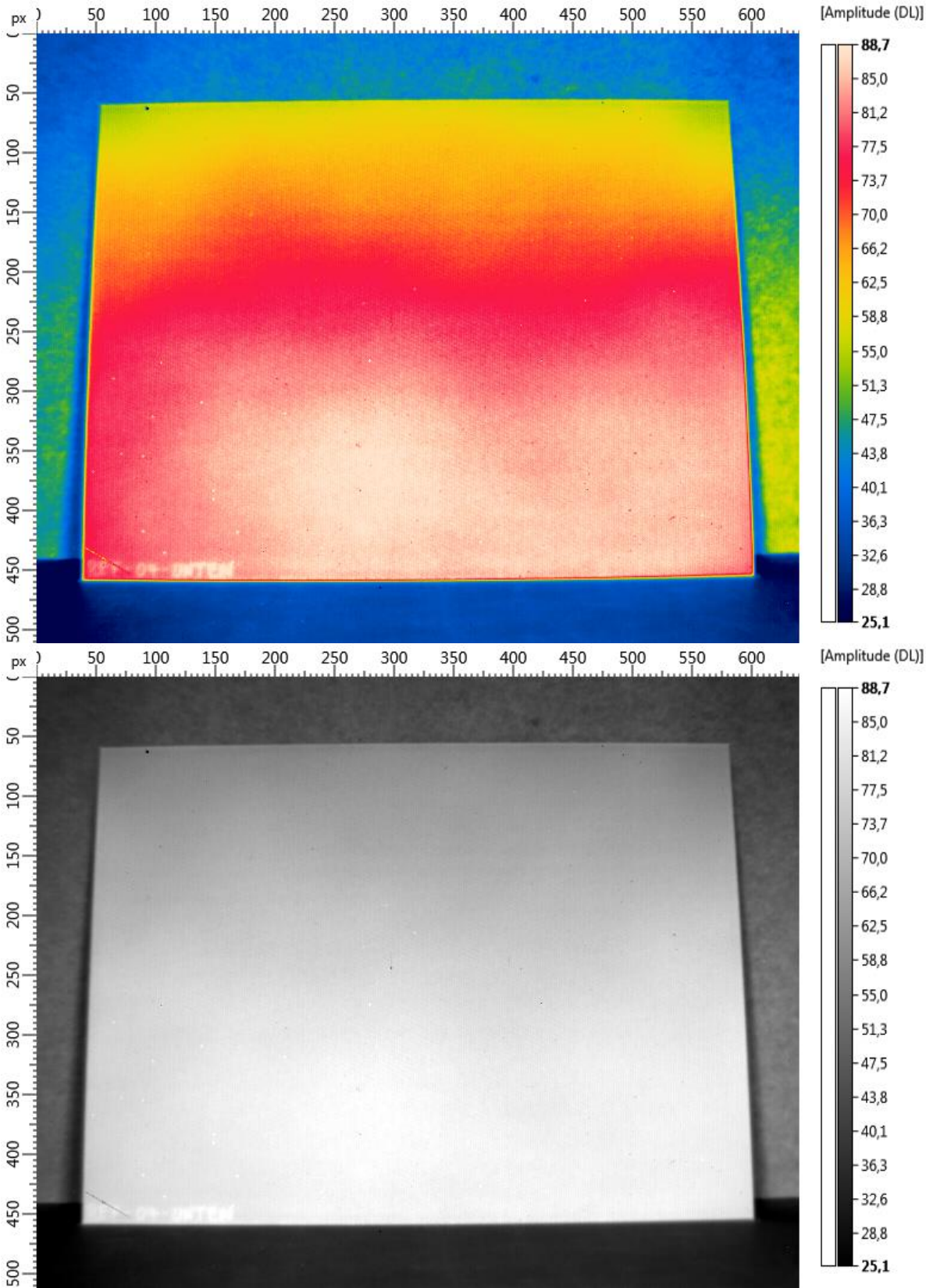


Abbildung 49: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



4.5.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





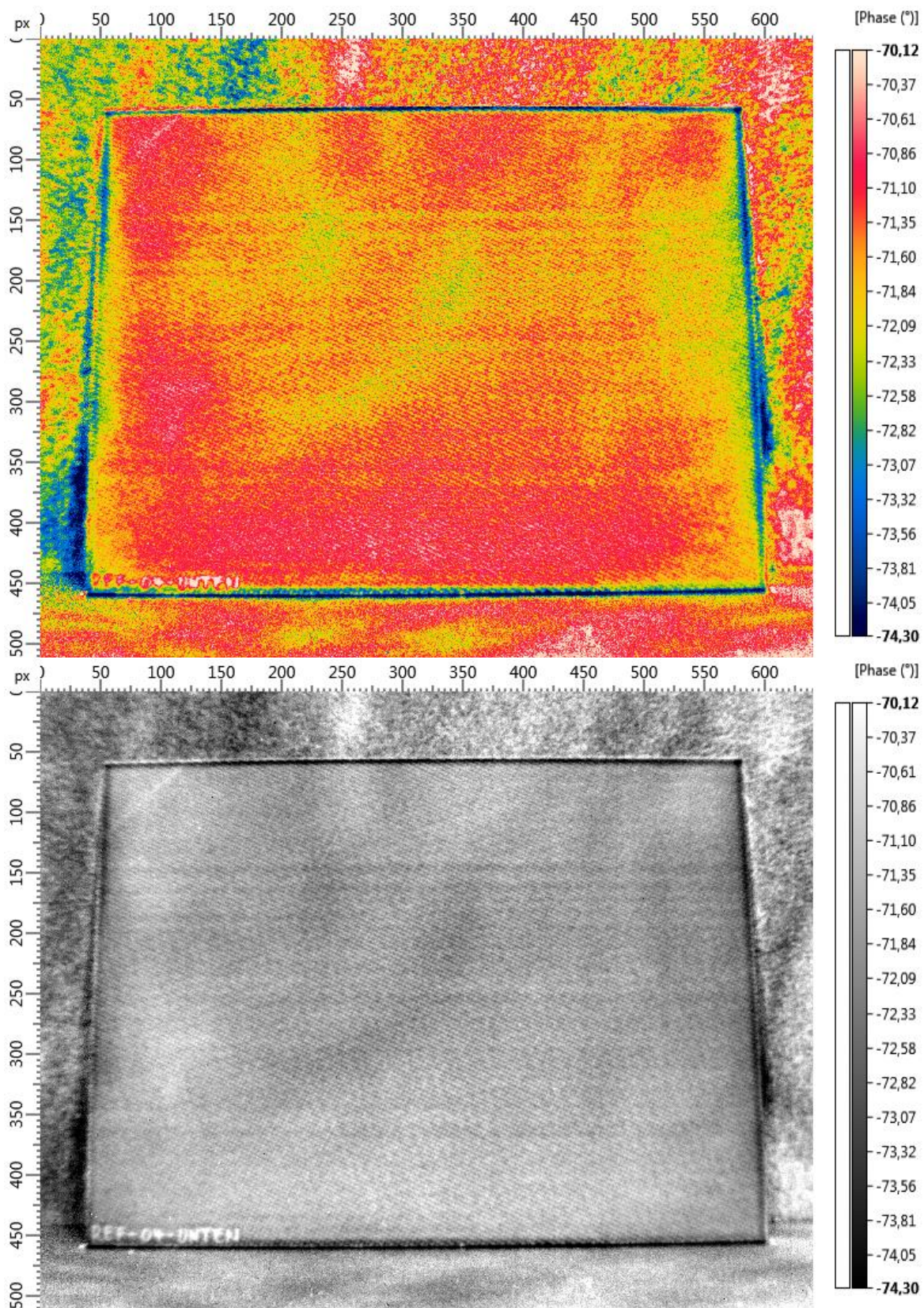
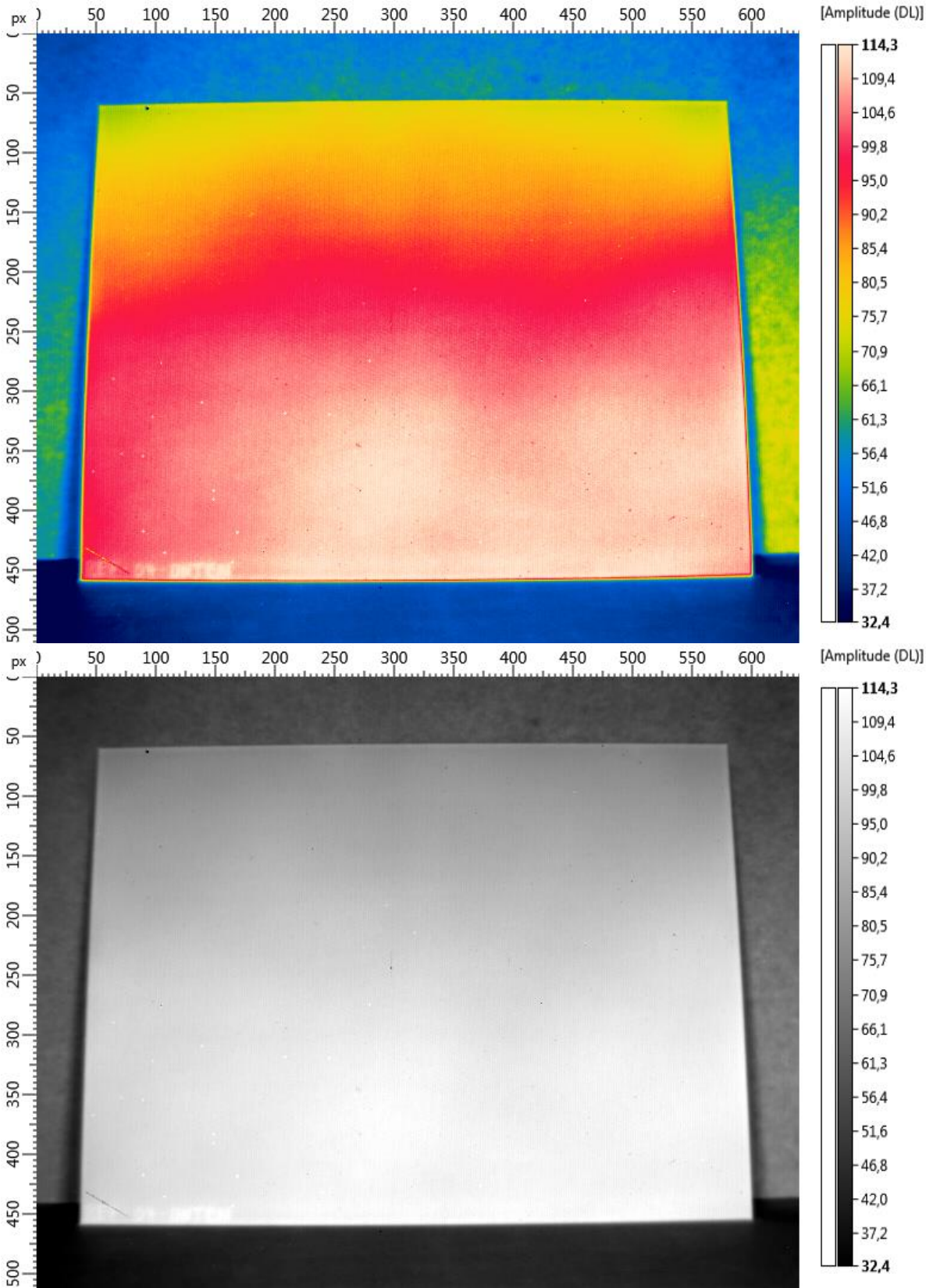


Abbildung 50: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



4.5.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





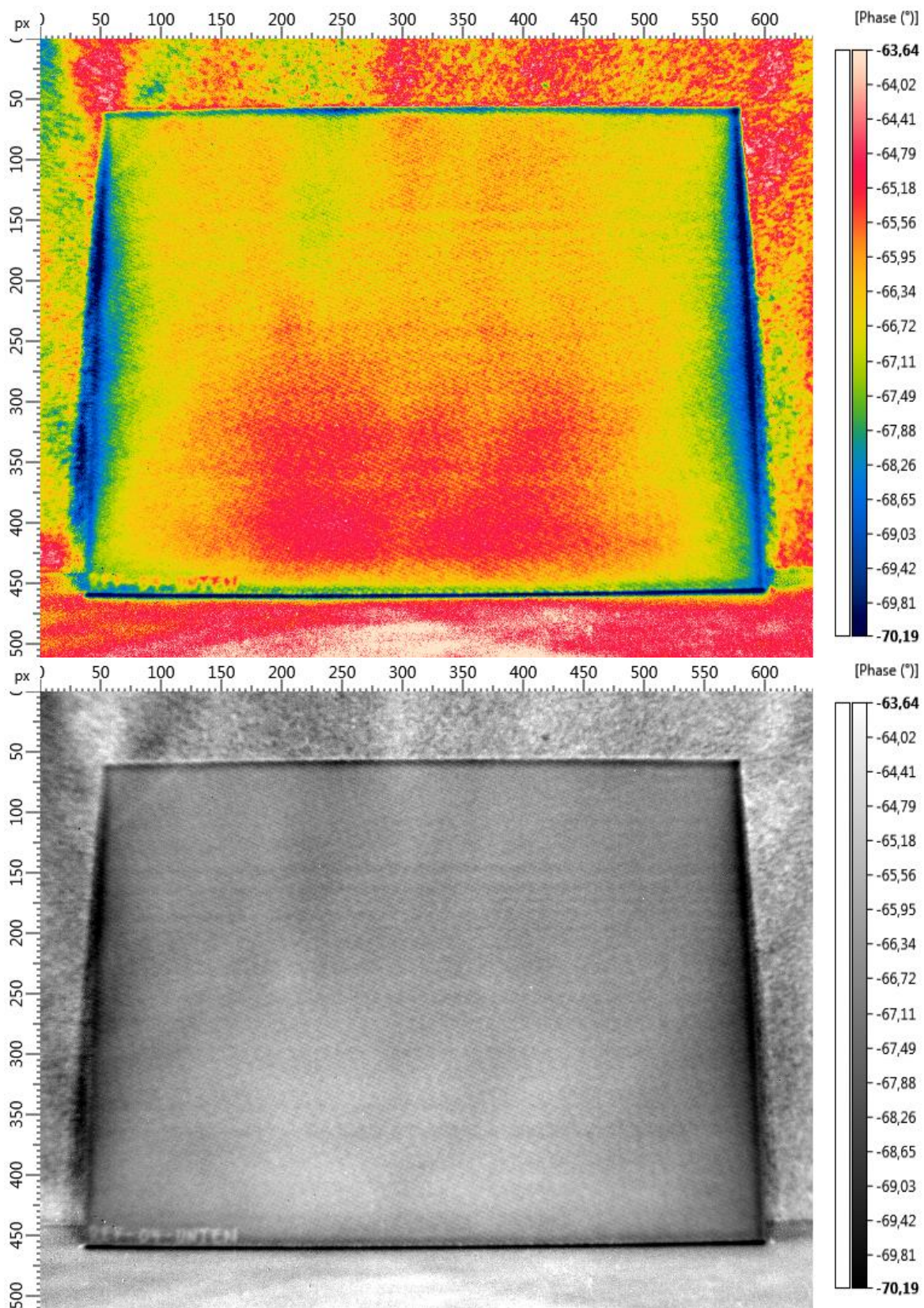
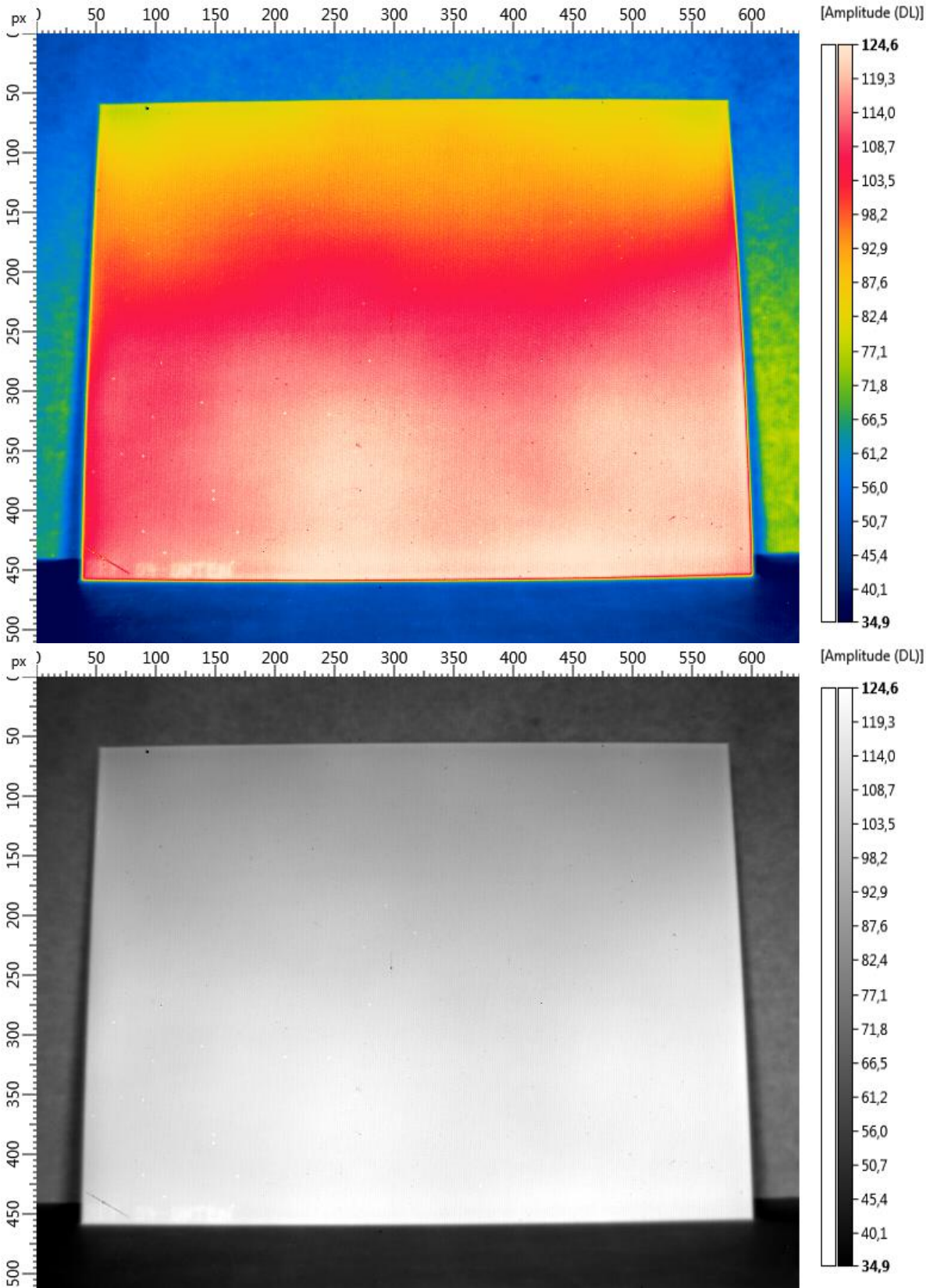


Abbildung 51: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,05\text{Hz} = 1,60\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

4.5.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





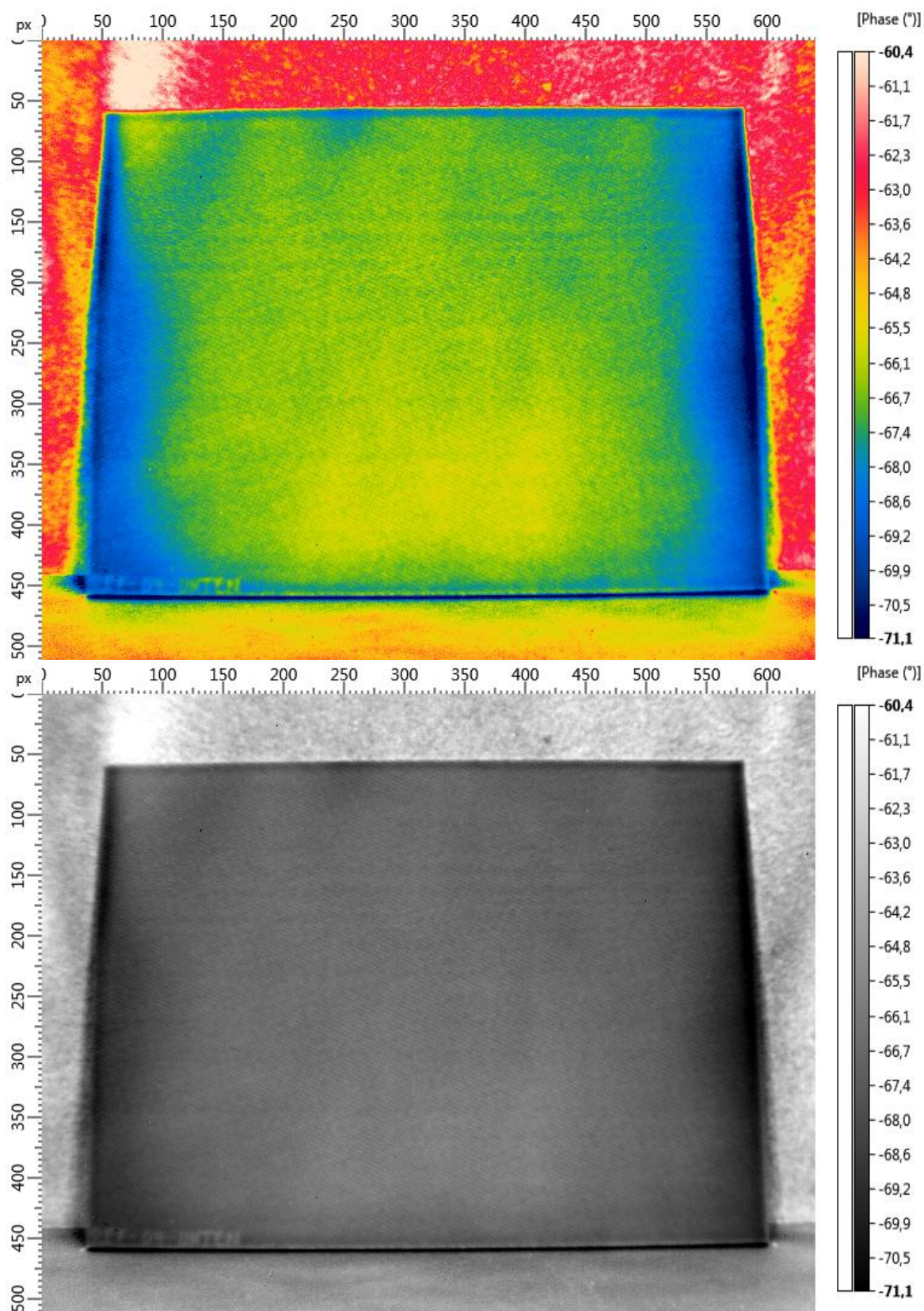
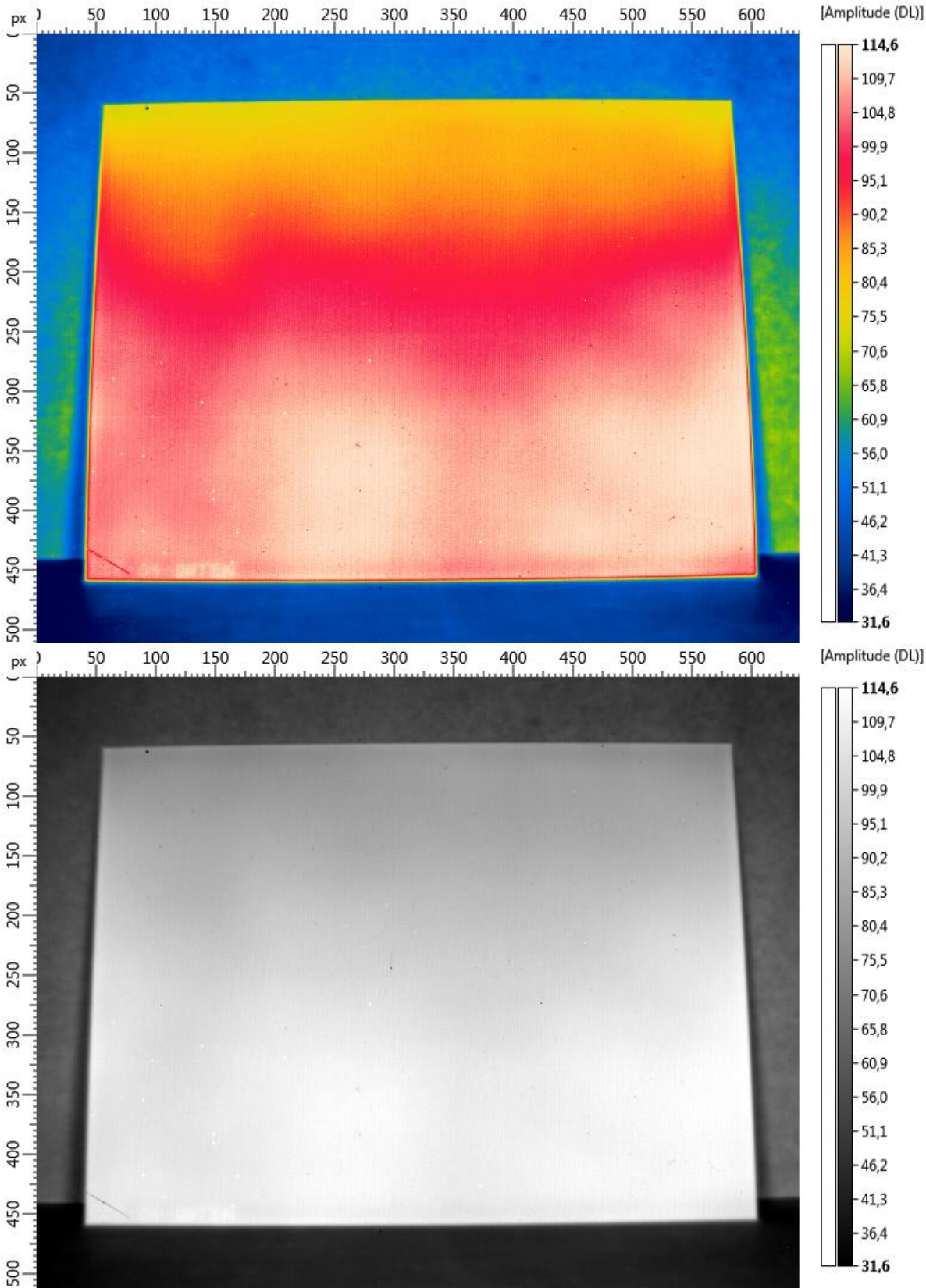


Abbildung 52: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

4.5.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





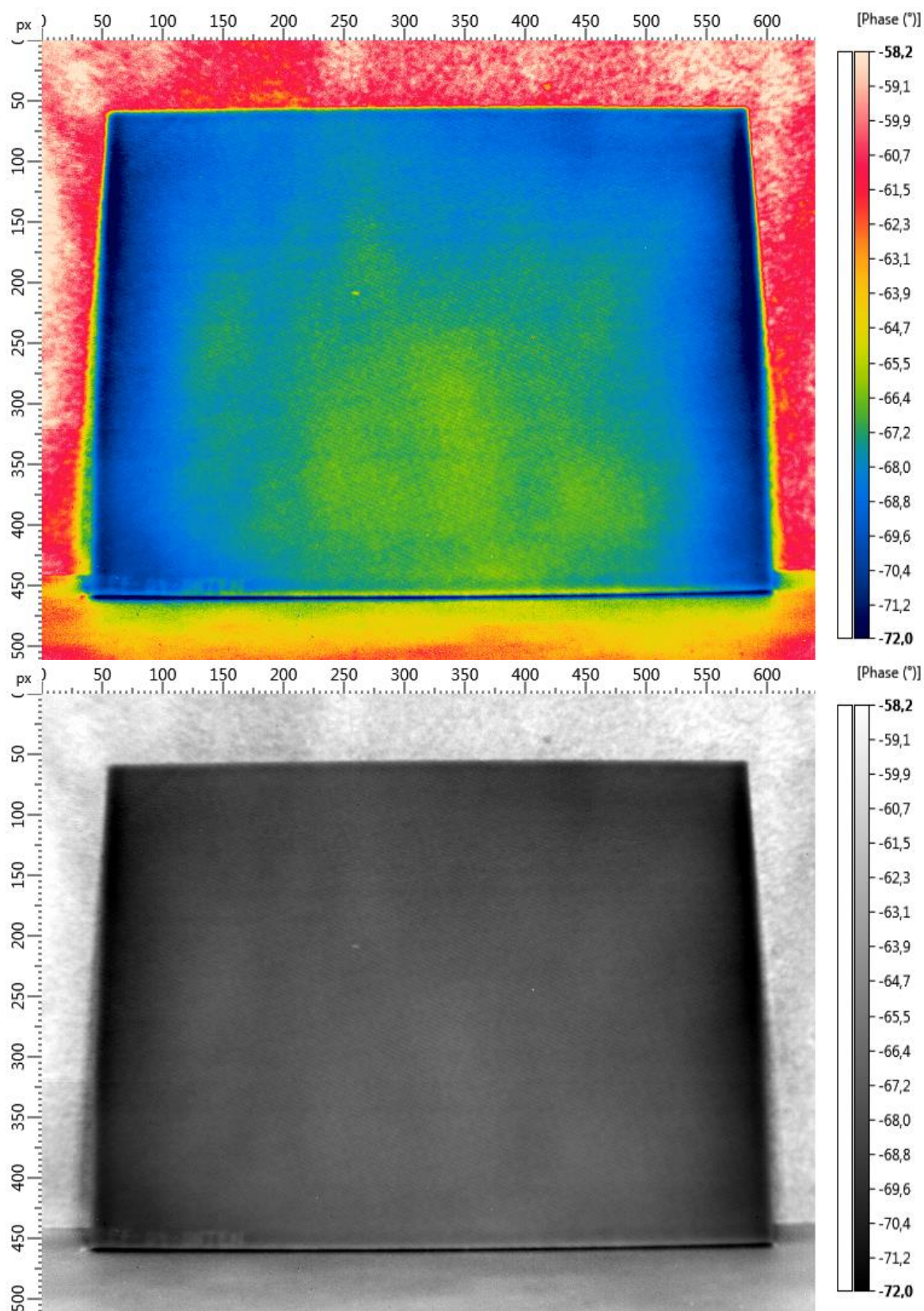


Abbildung 53: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.5.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN und UNTEN sind 3 horizontal verlaufende Linien zu sehen.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



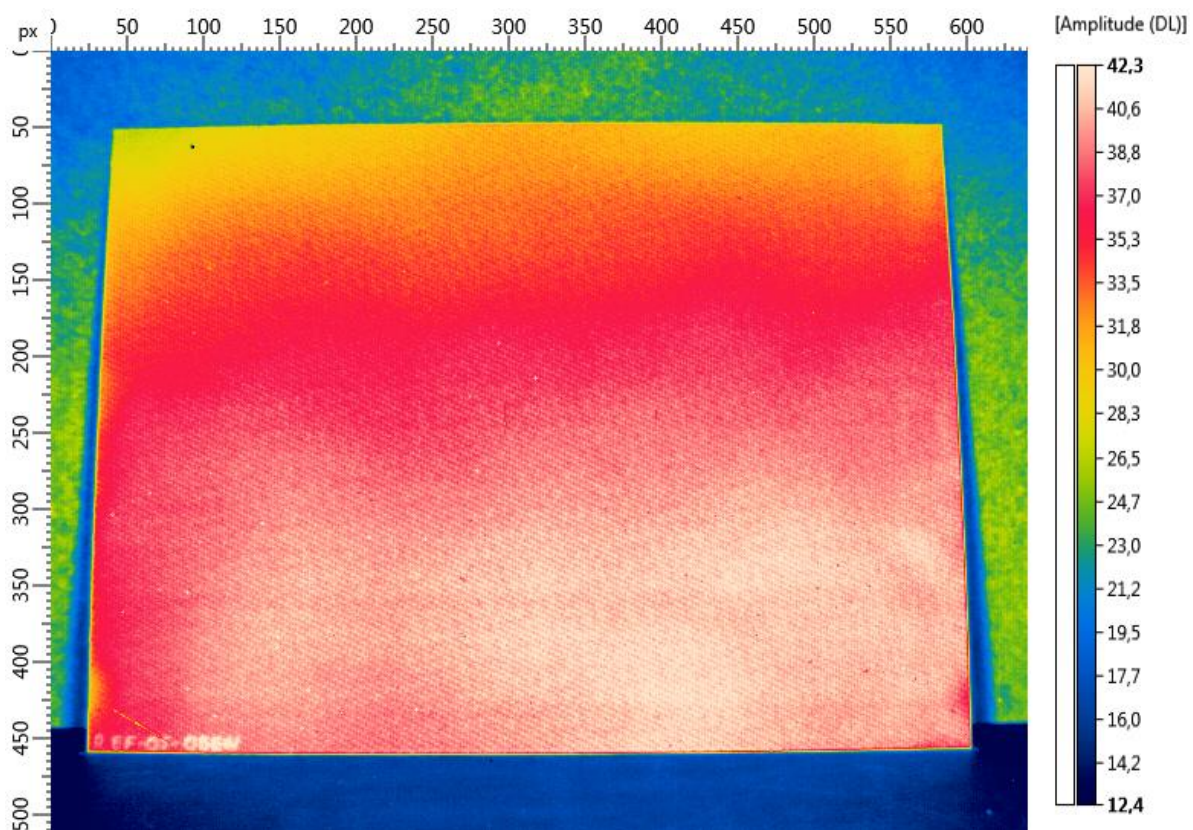
## 4.6. REF-05

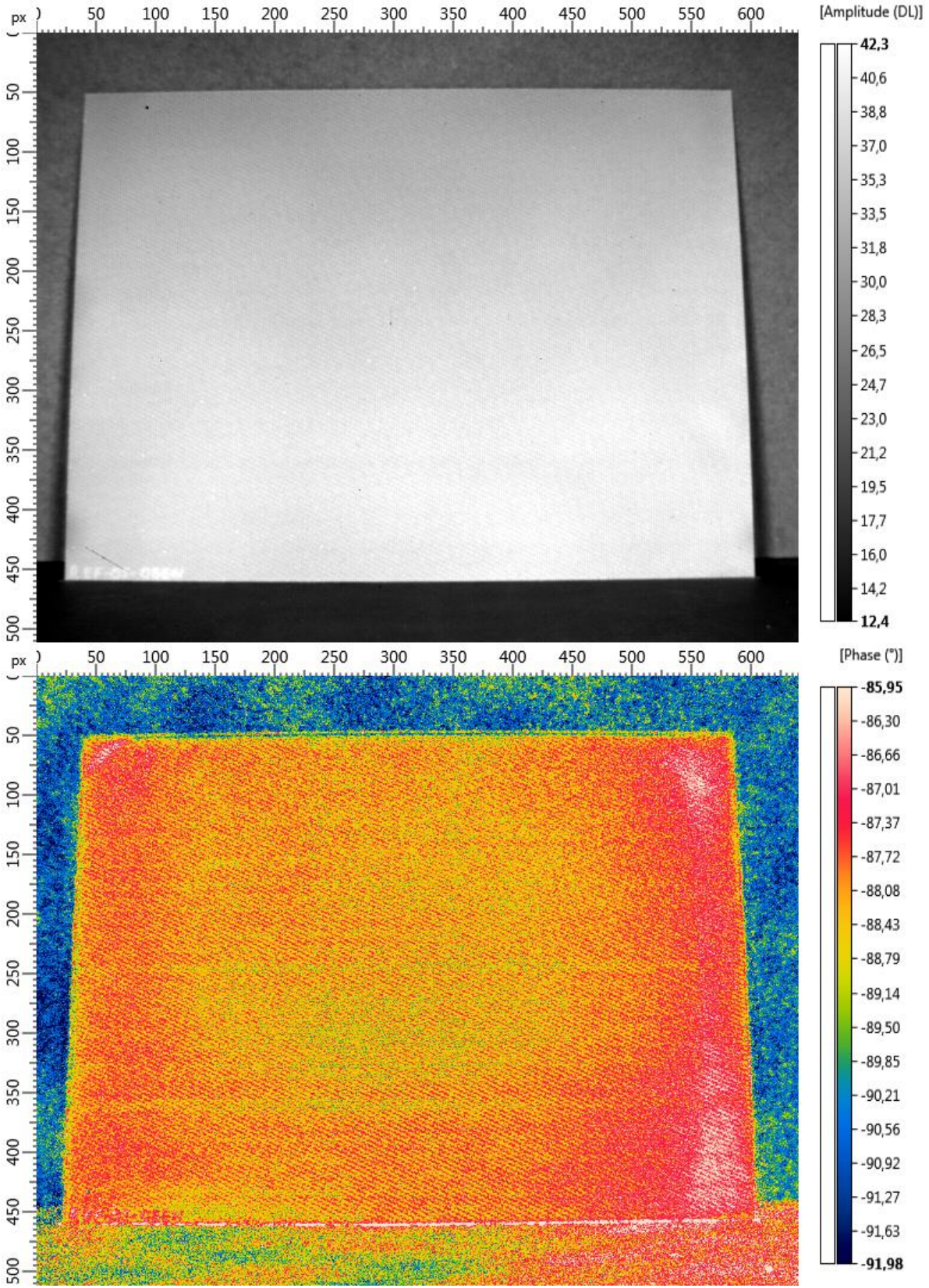
Tabelle 6: Dickenmessung REF-05

3,7 mm	3,6 mm
3,7 mm	3,7 mm

### 4.6.1. Messung von OBEN

#### 4.6.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







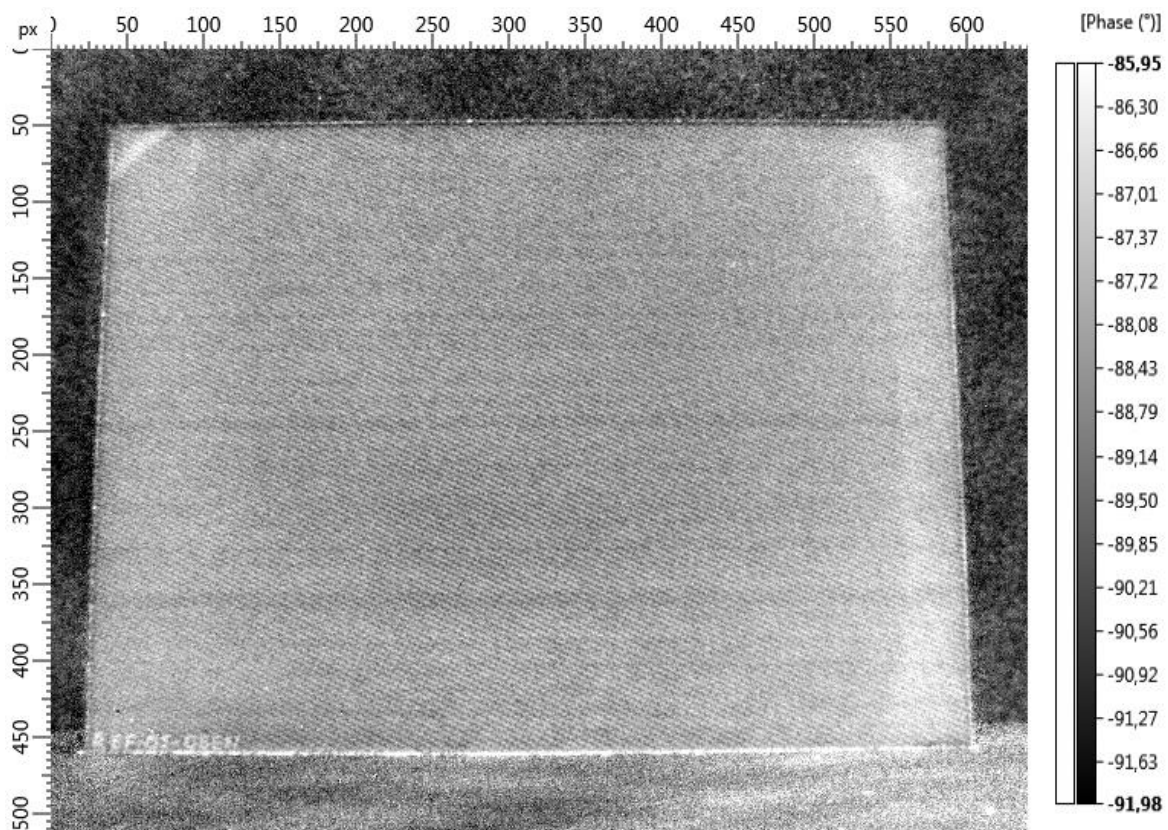
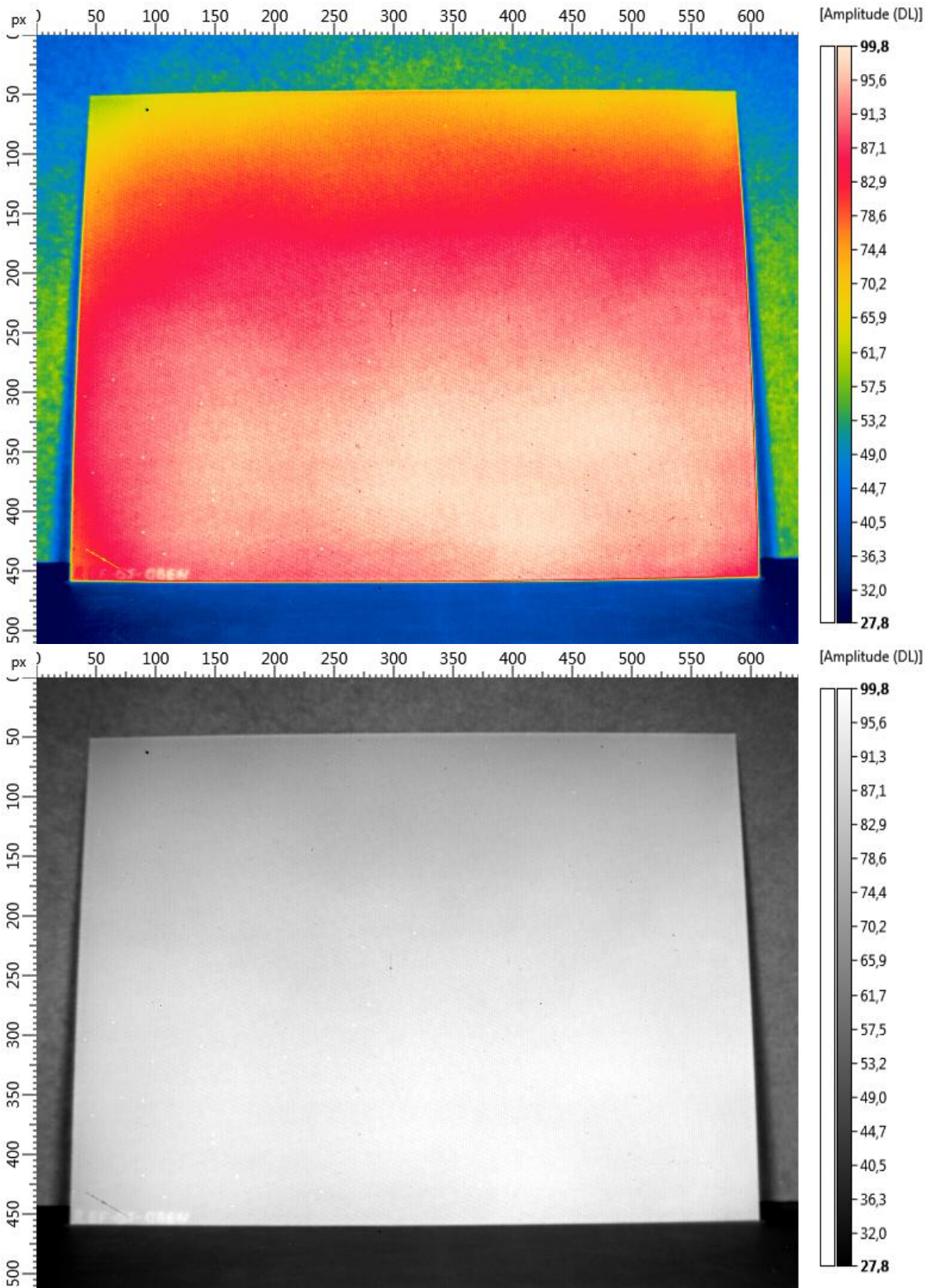


Abbildung 54: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.6.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





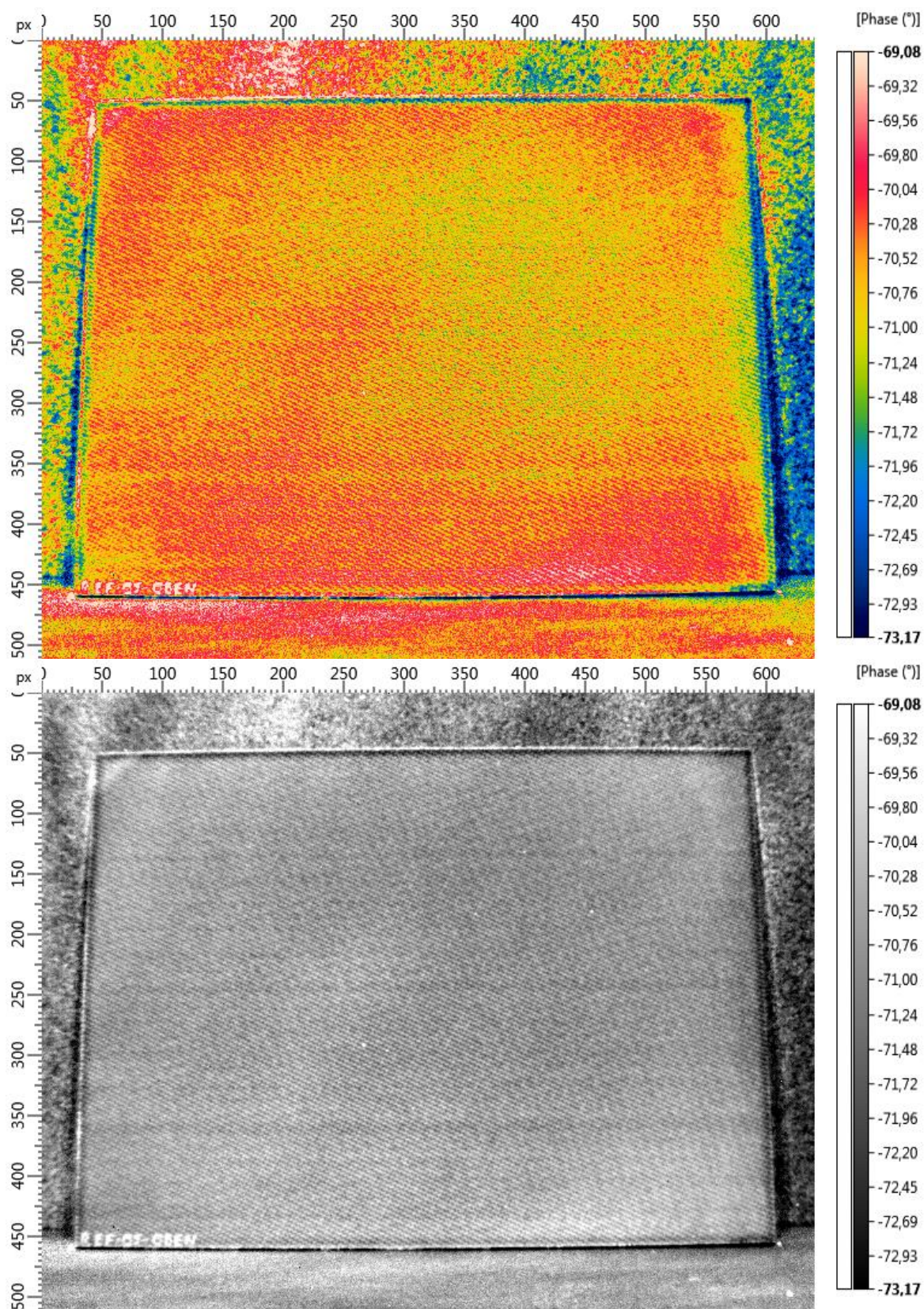
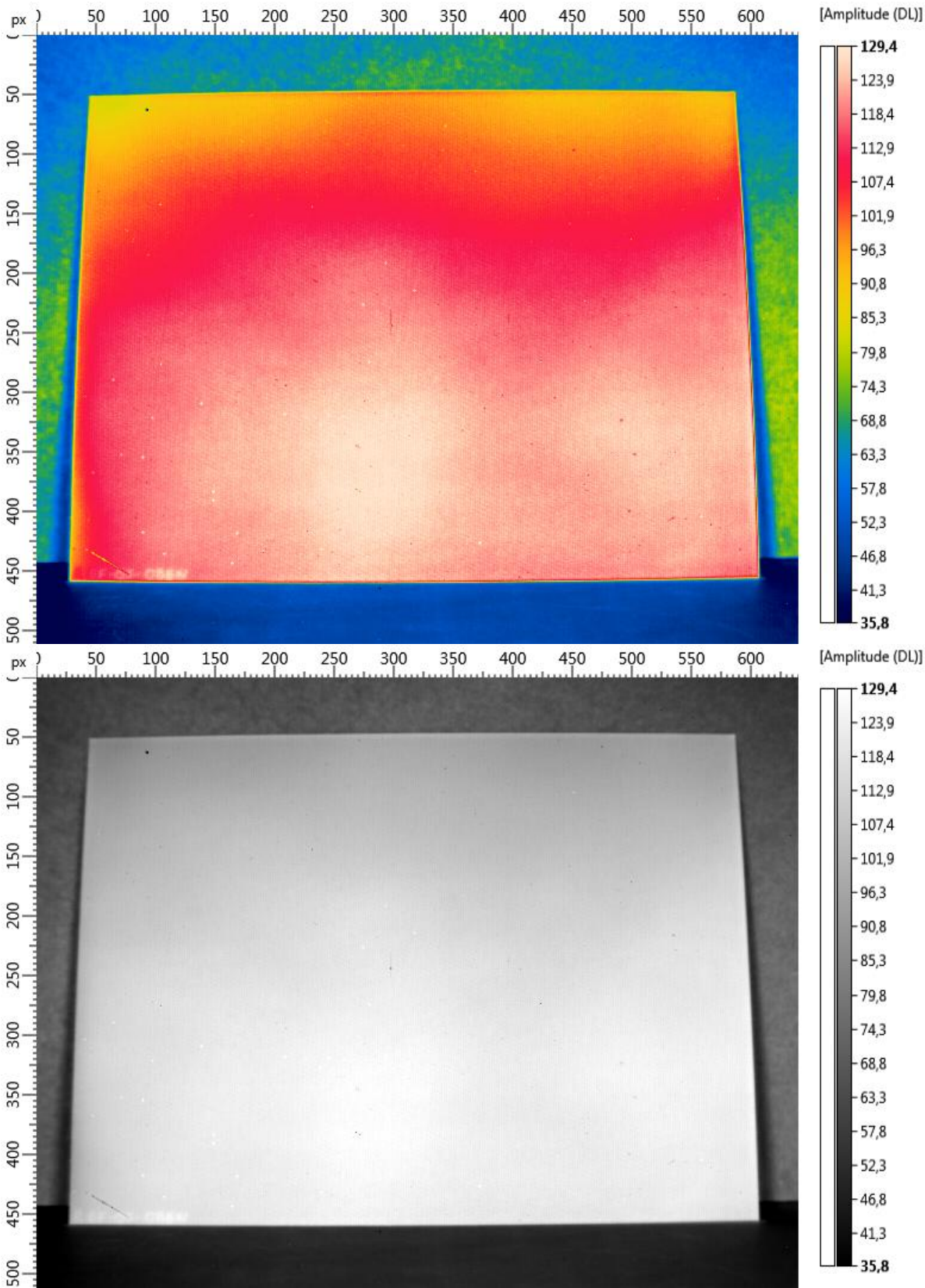


Abbildung 55: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



**4.6.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm**





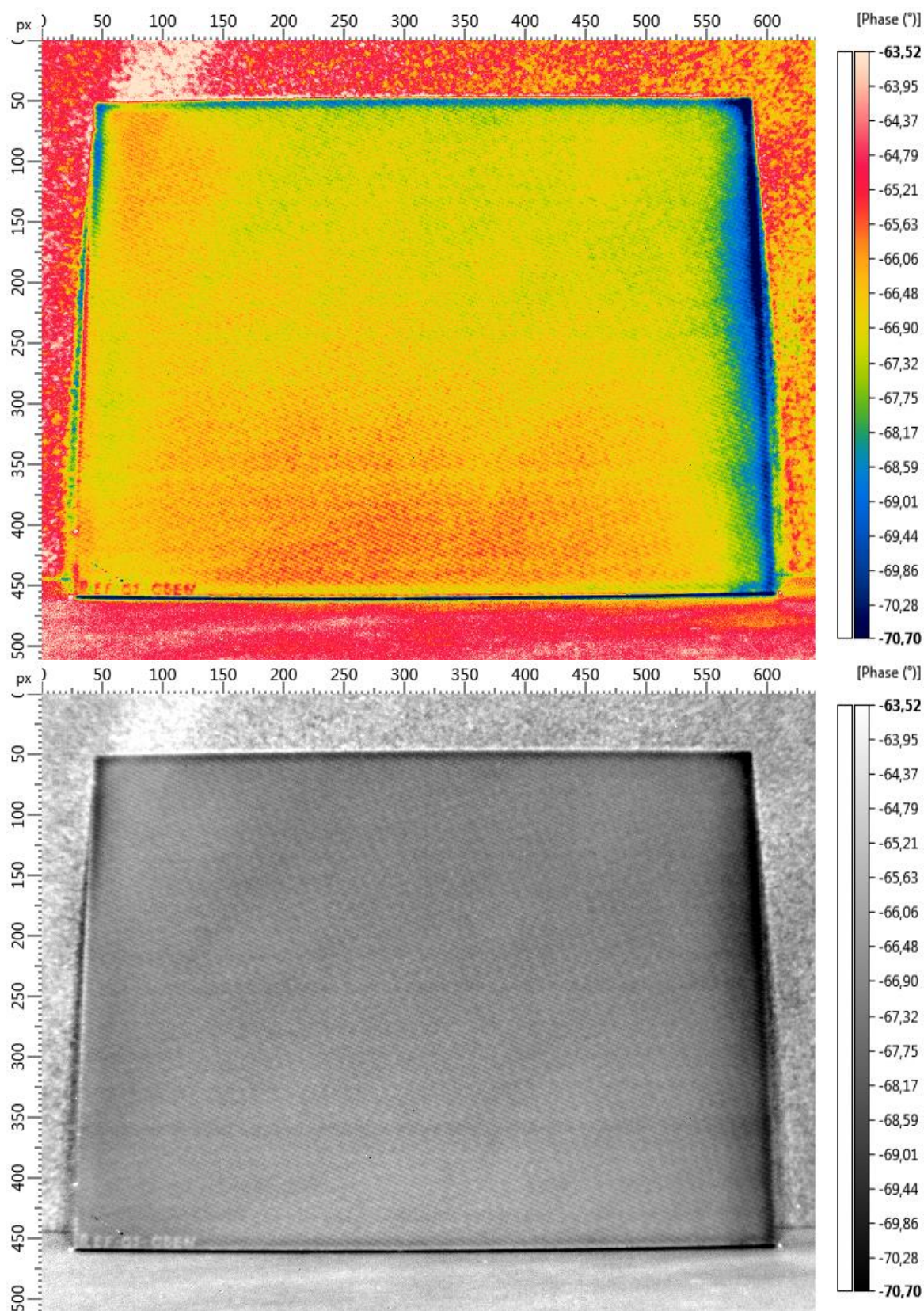
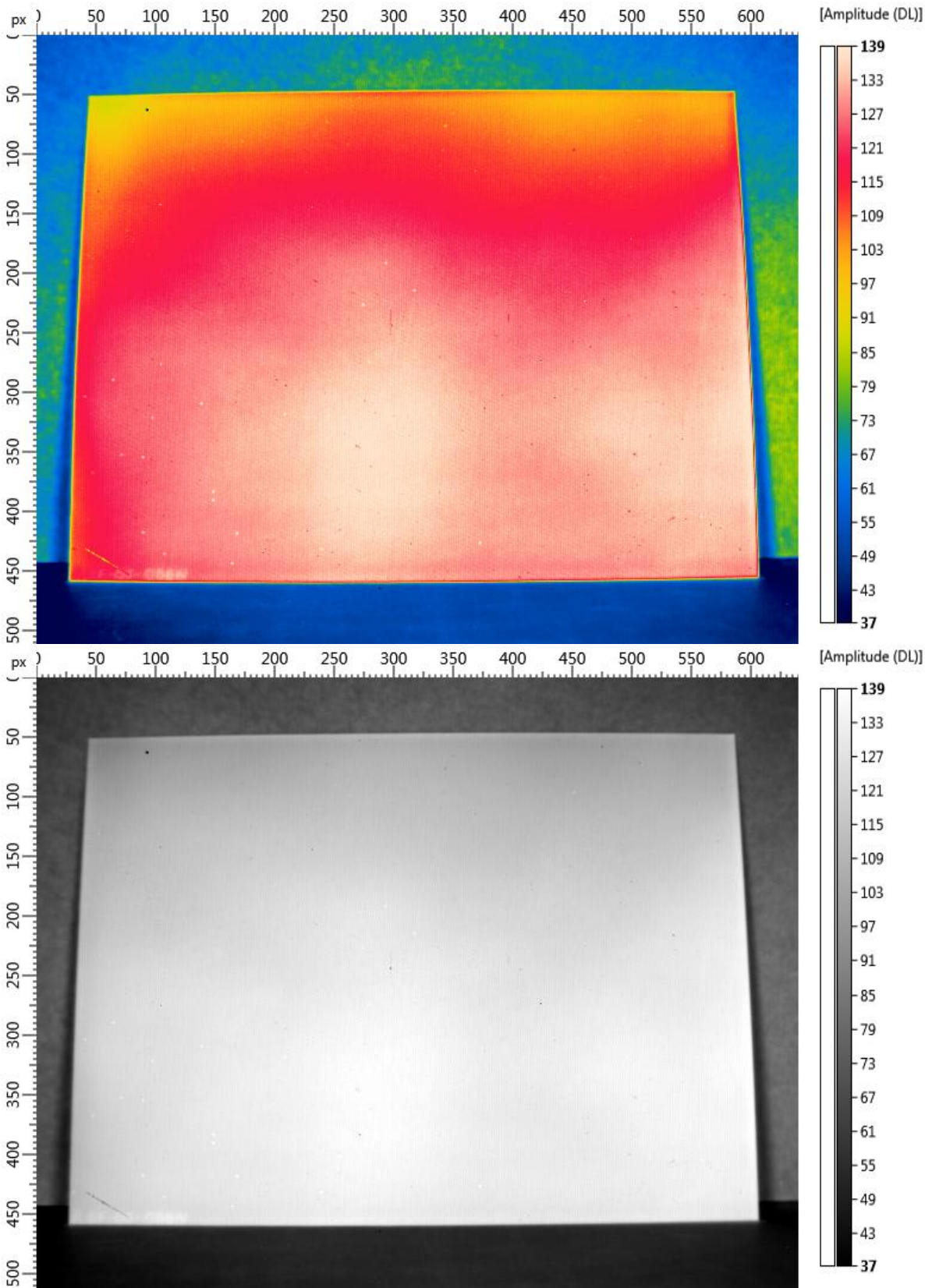


Abbildung 56: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

**4.6.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm**





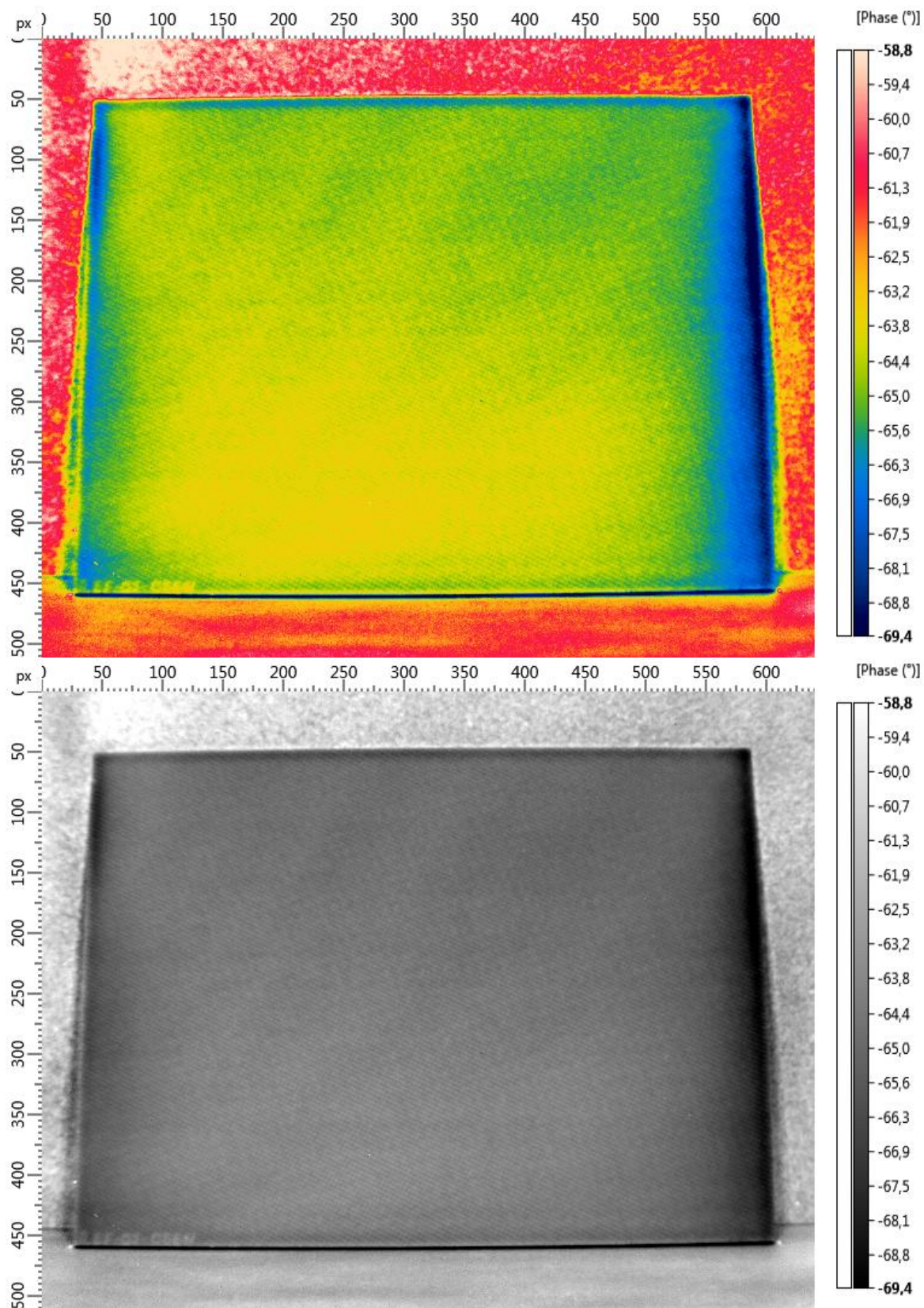
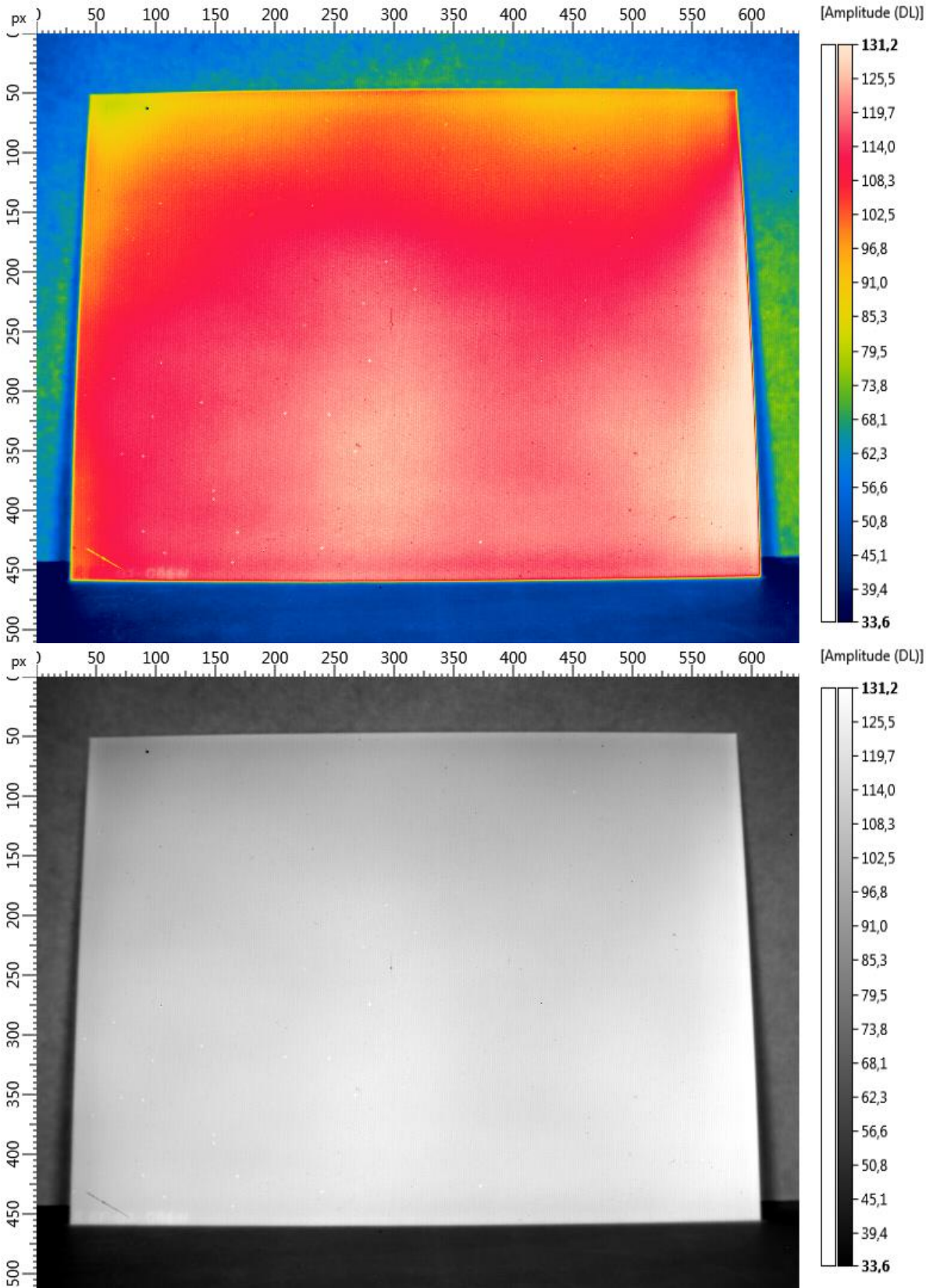


Abbildung 57: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

4.6.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





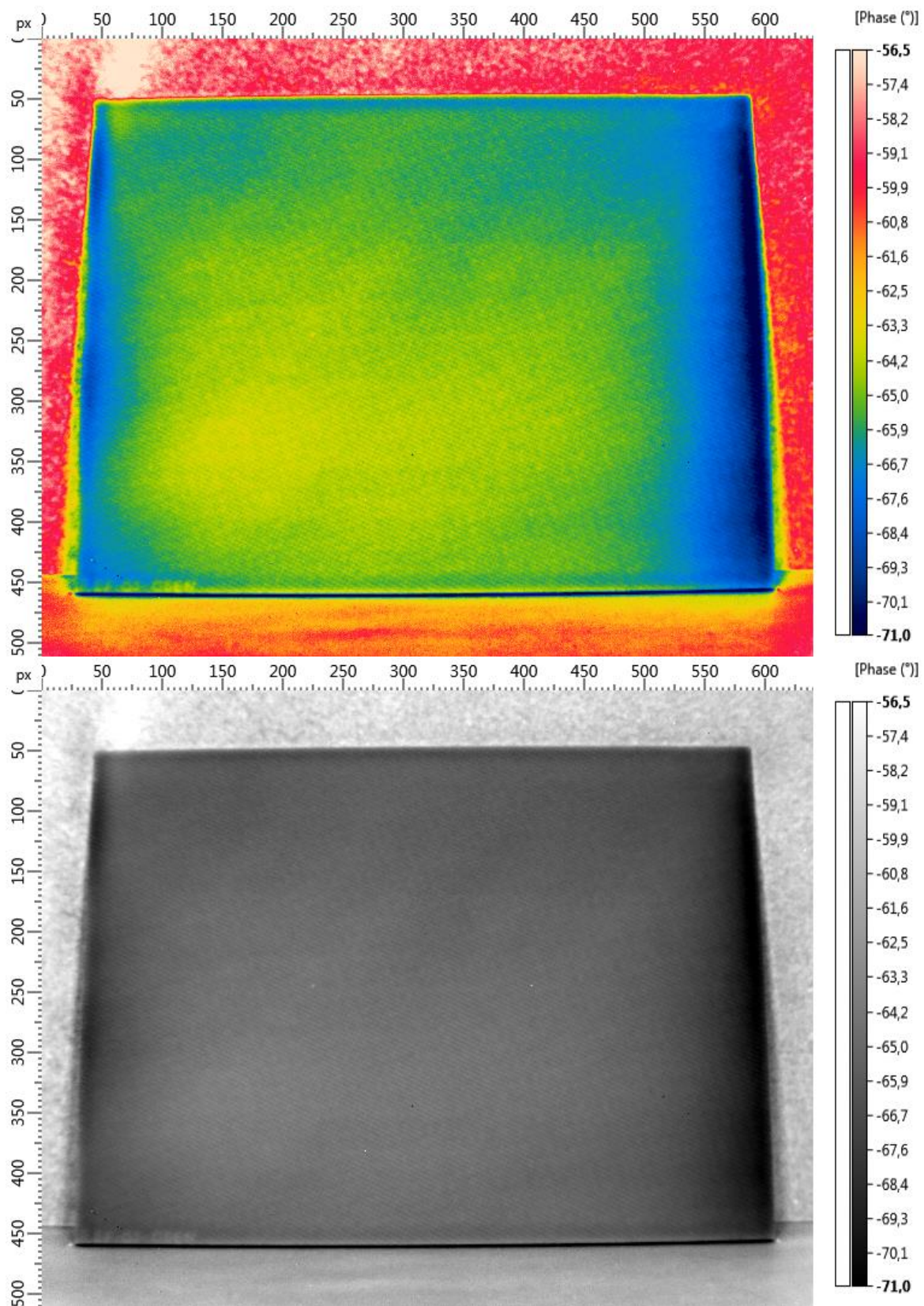
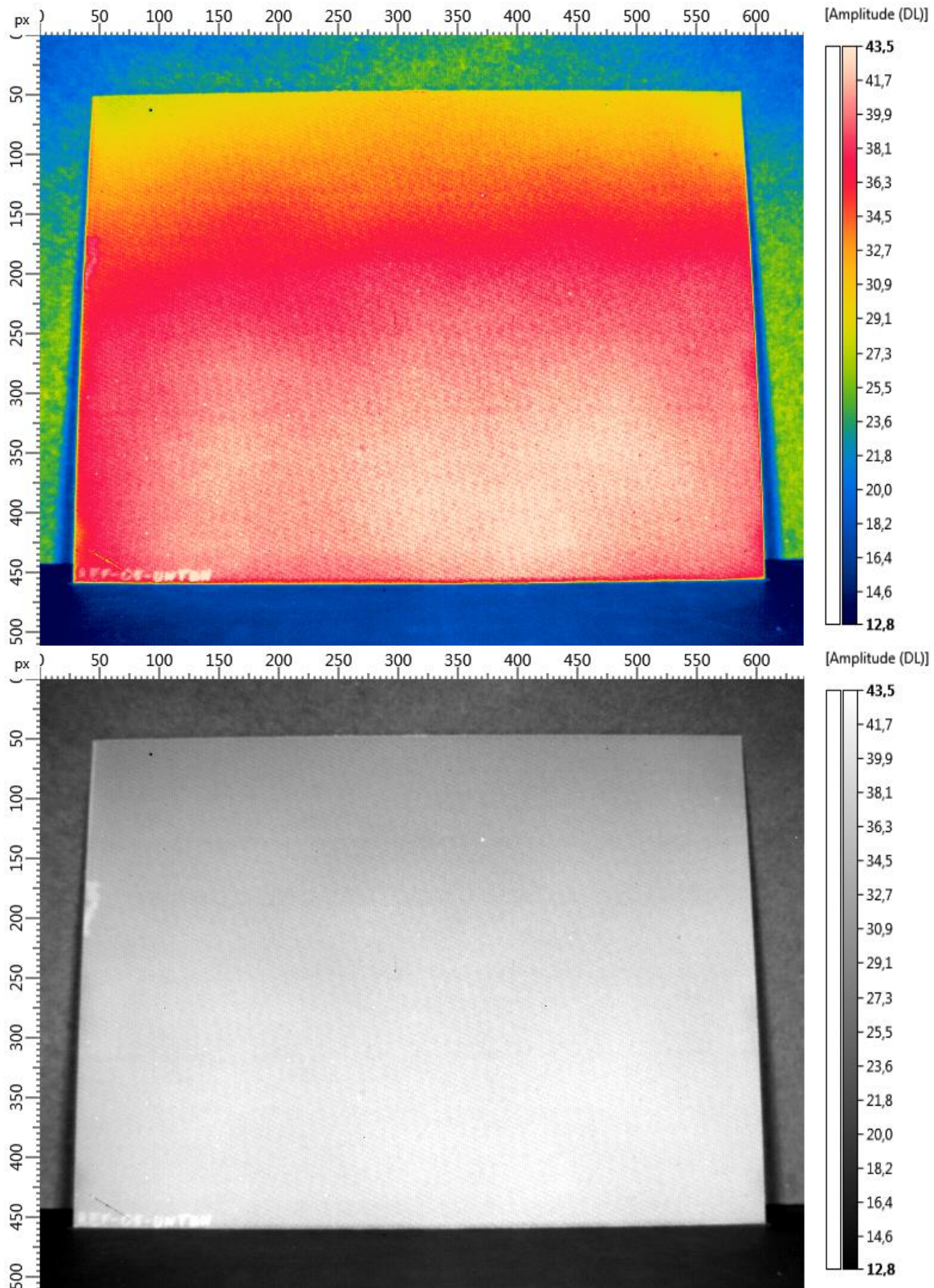


Abbildung 58: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.6.2. Messungen von UNTEN

### 4.6.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





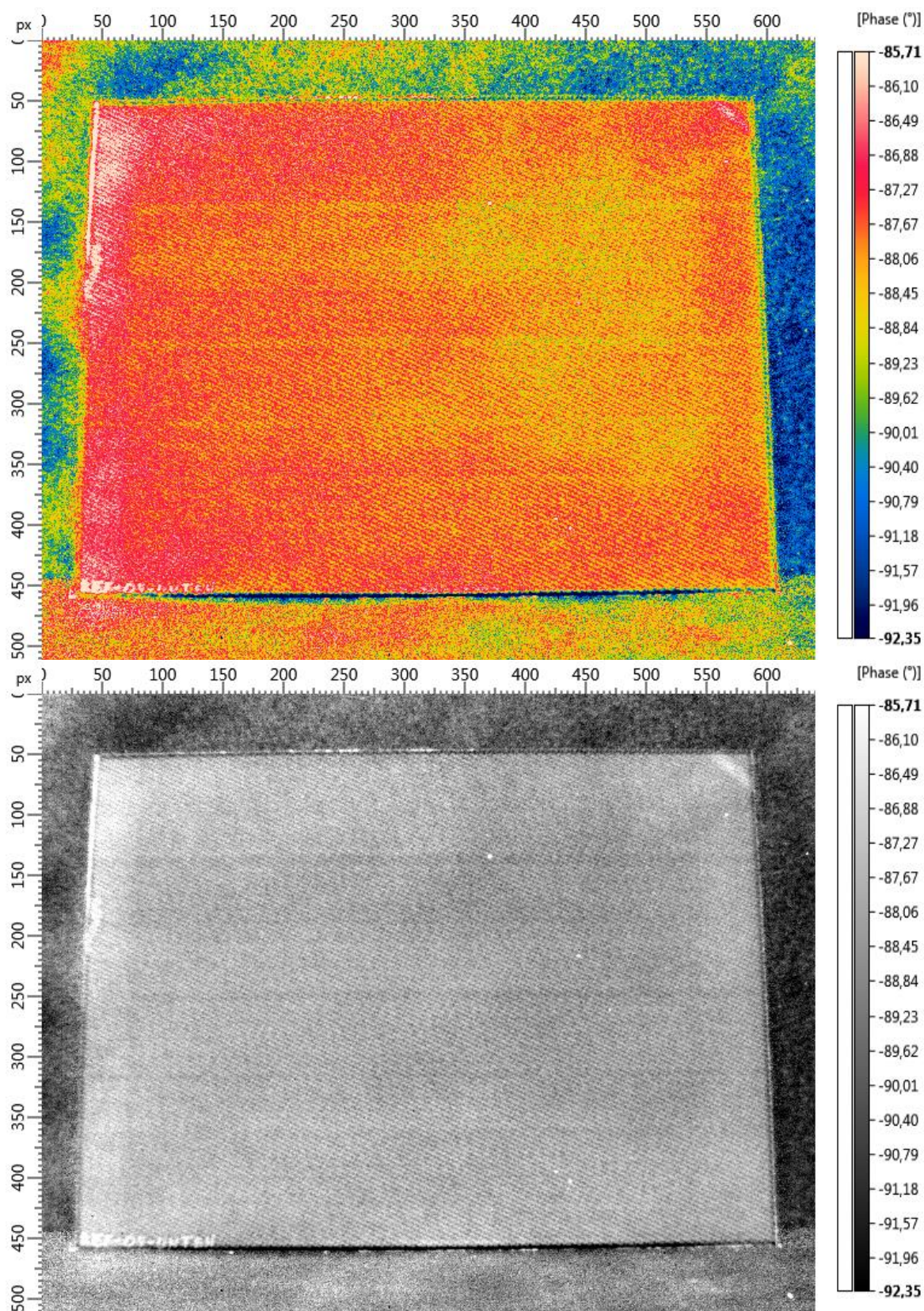
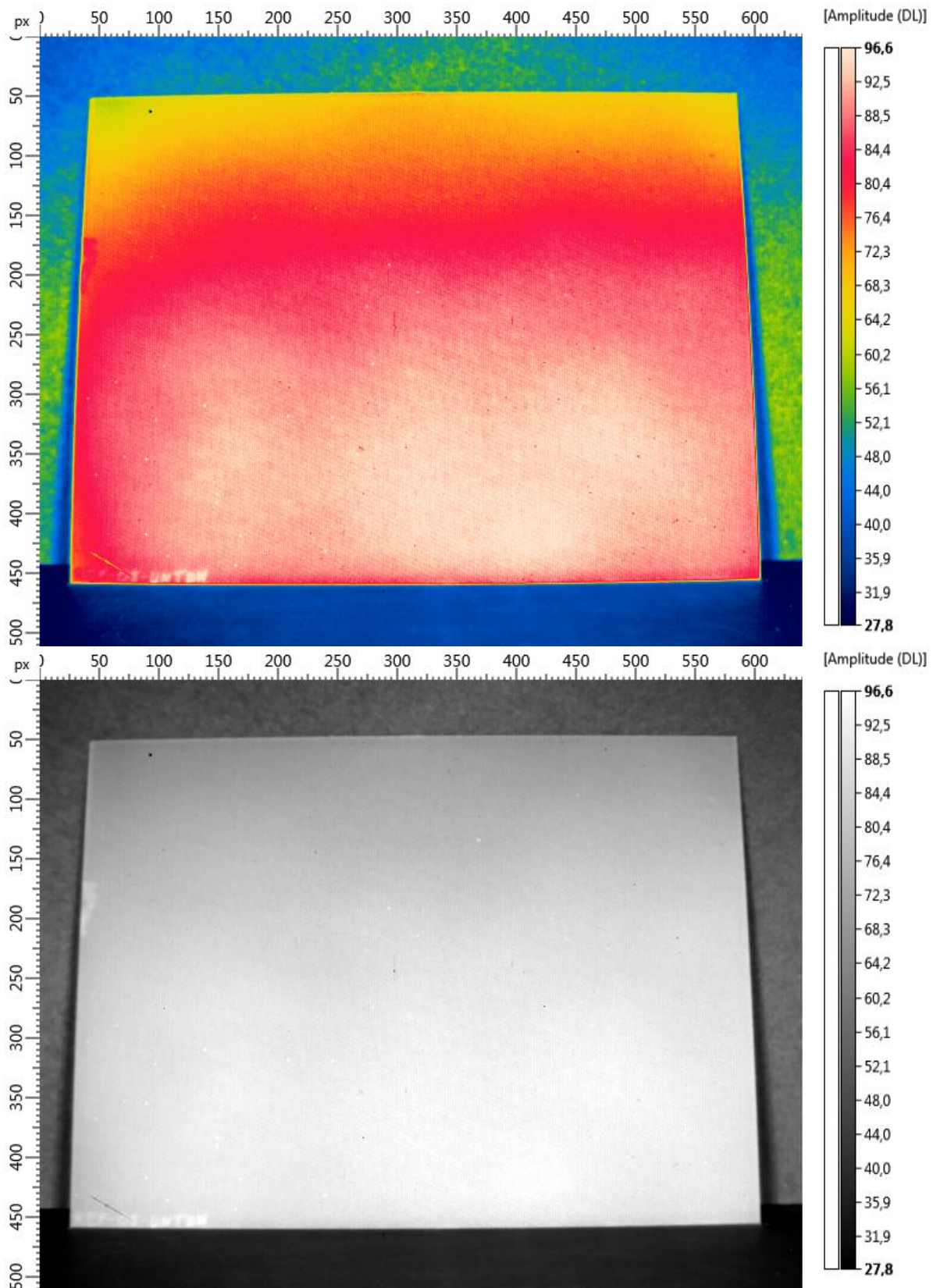


Abbildung 59: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



#### 4.6.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





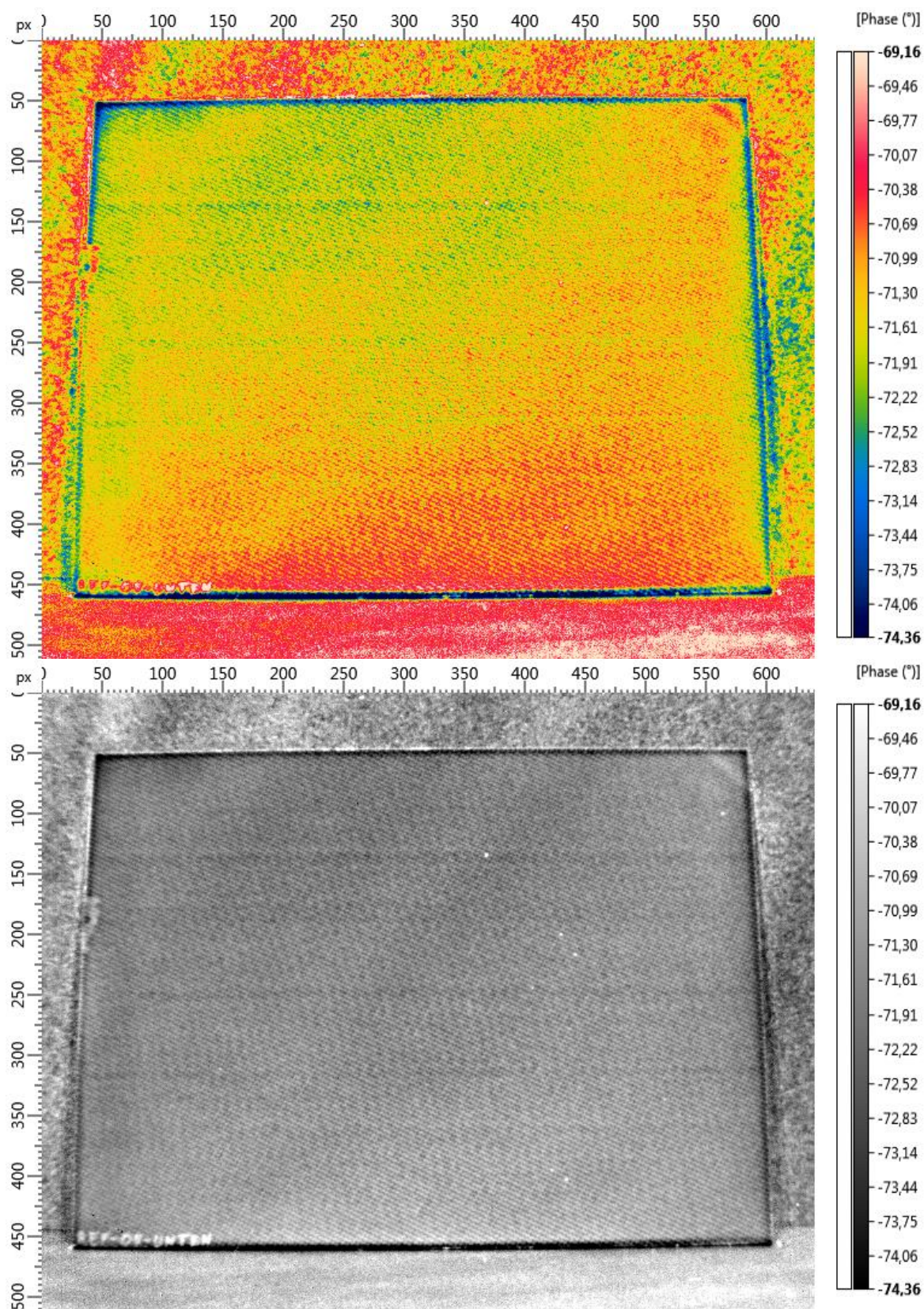
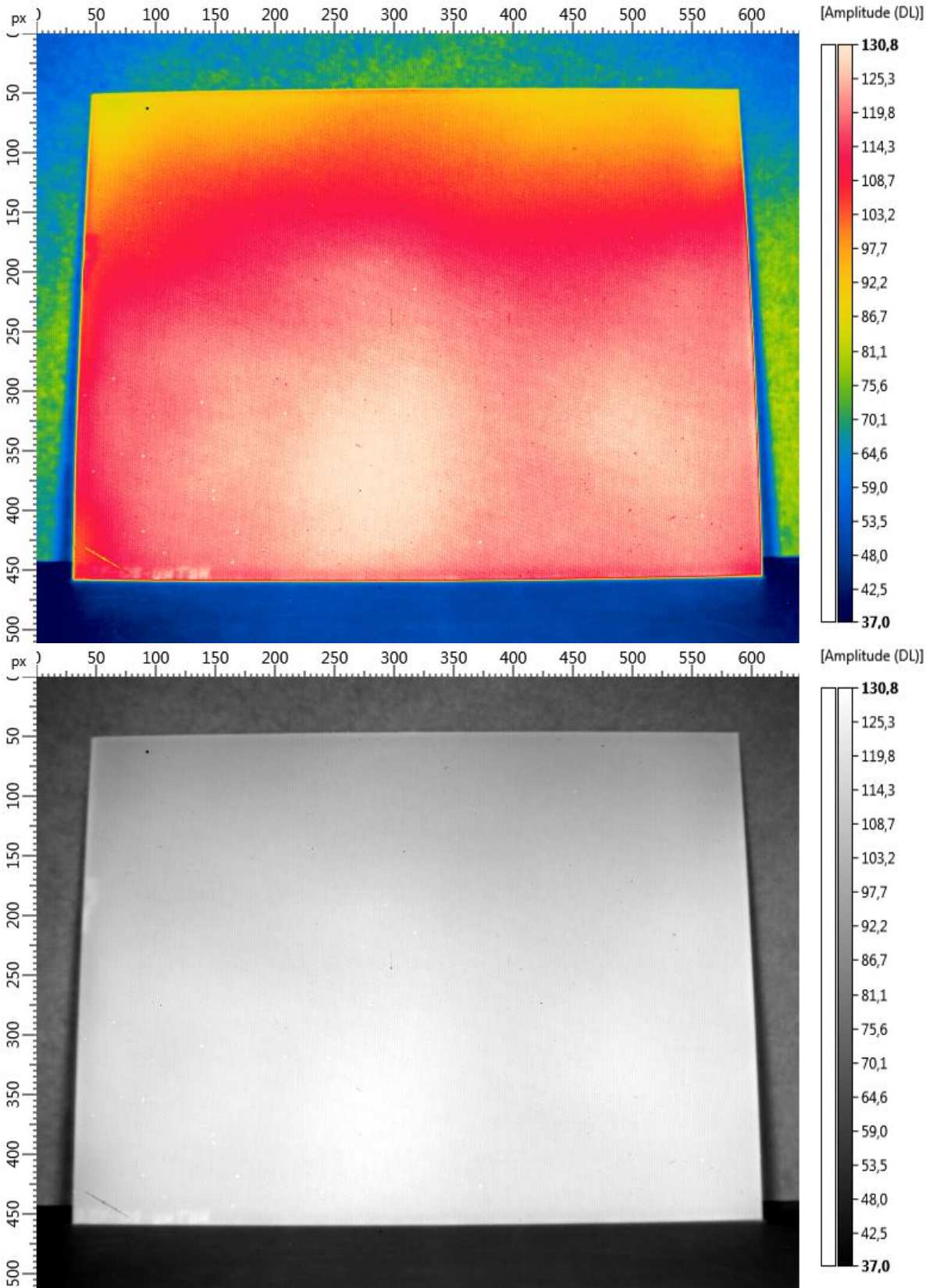


Abbildung 60: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



4.6.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





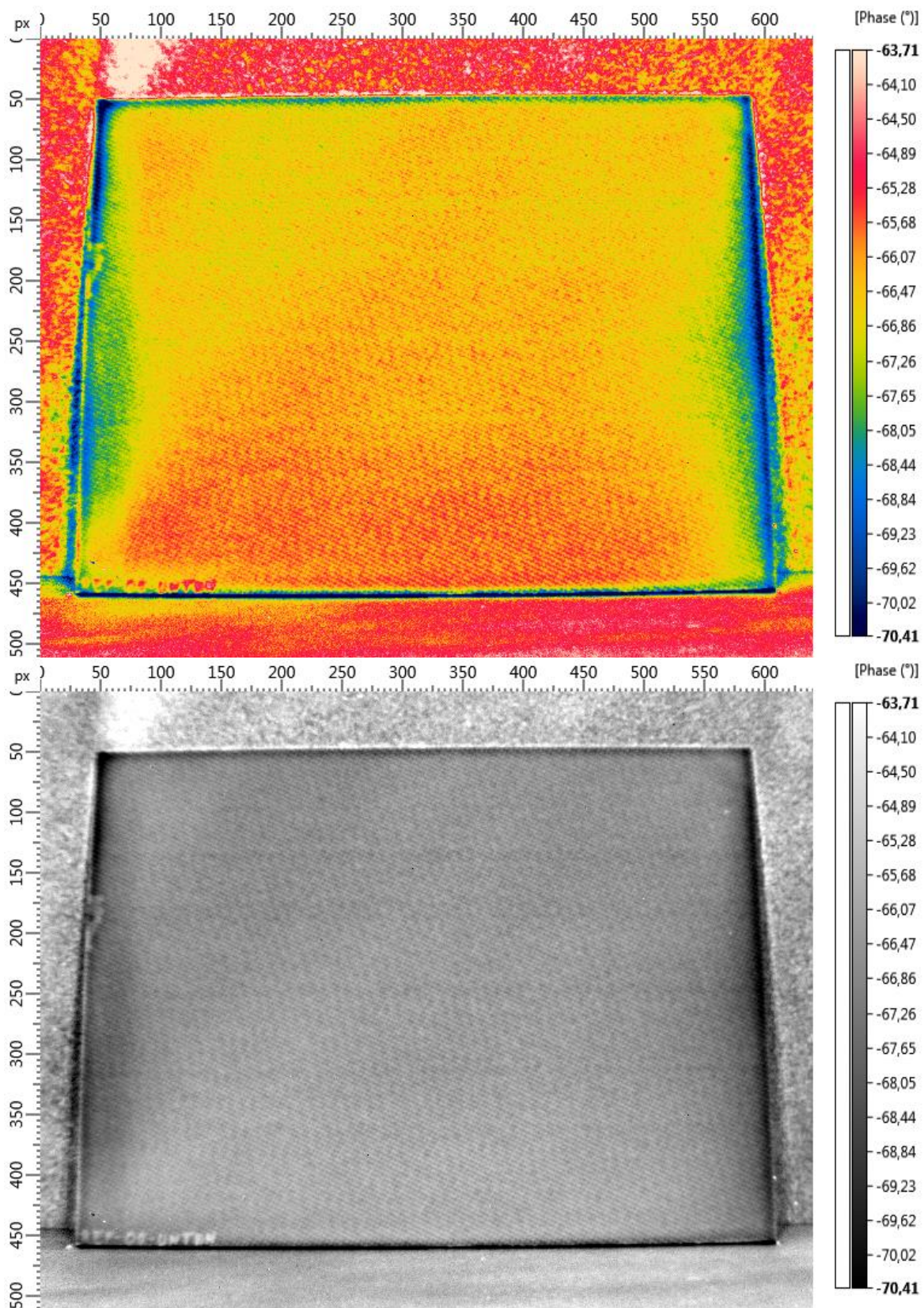
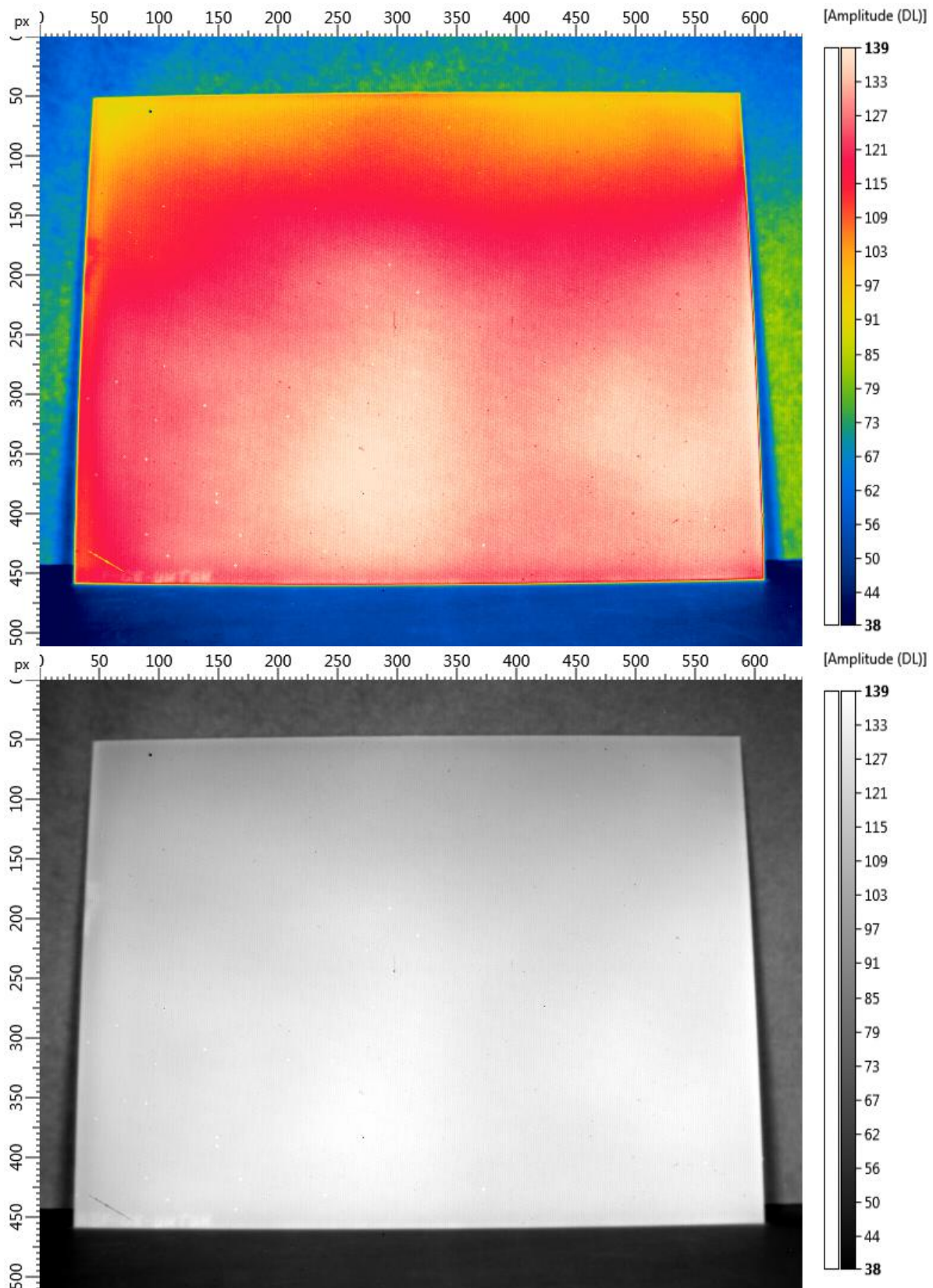


Abbildung 61: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.6.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





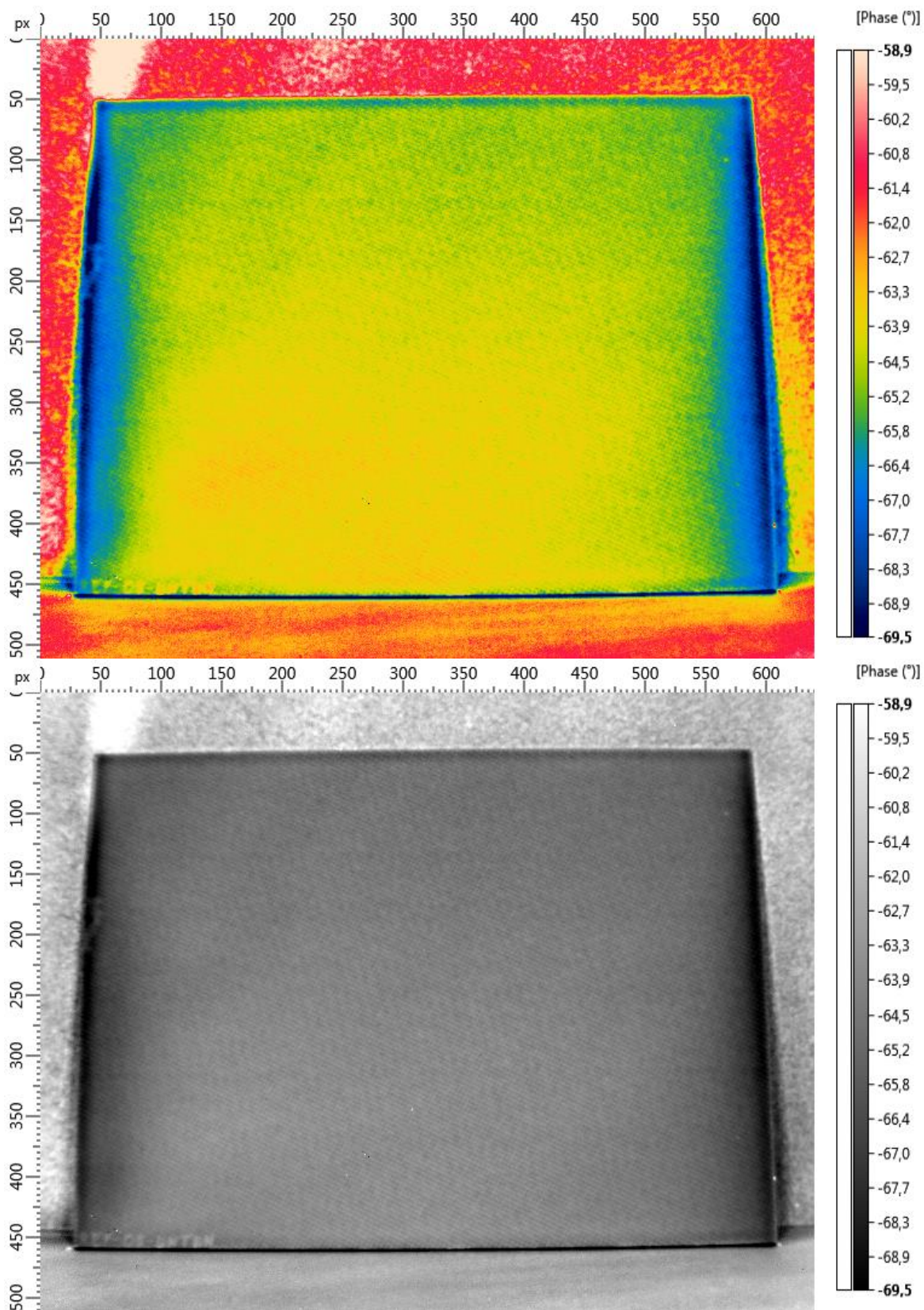
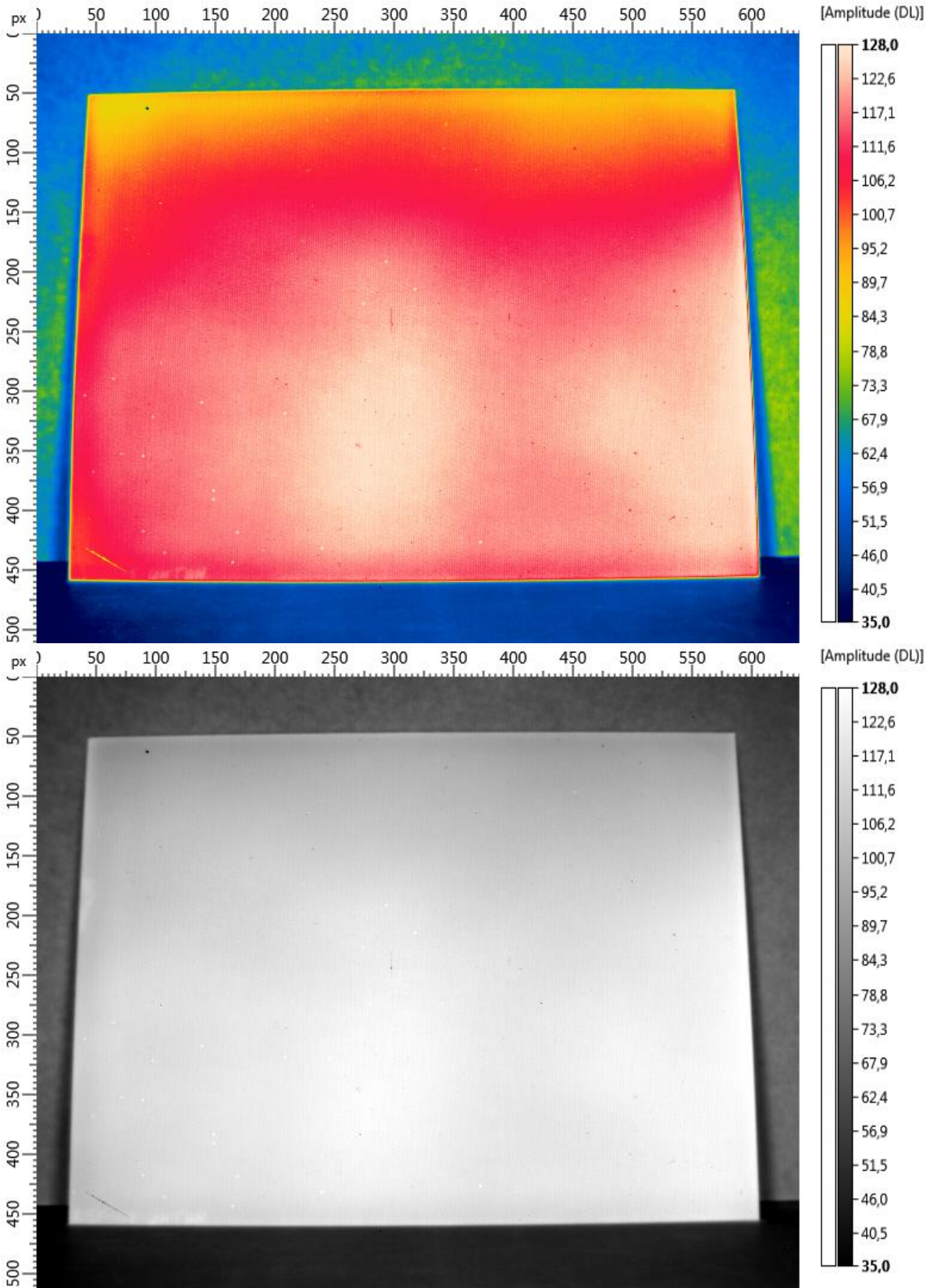


Abbildung 62: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

4.6.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





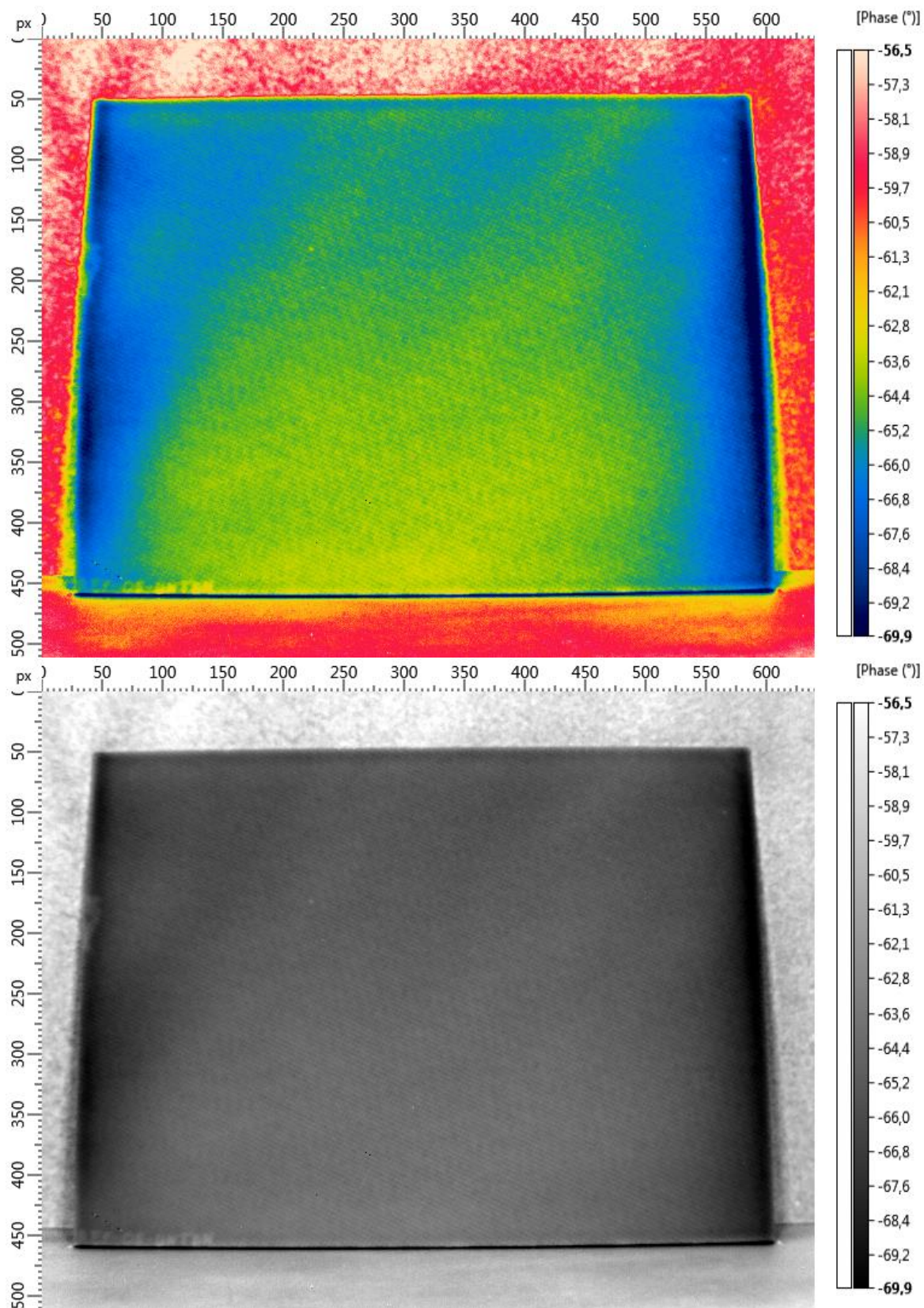


Abbildung 63: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.6.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der rechten Seite ein ca. 44 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 39 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 39 mm auf der linken Seite erkennbar. Ebenso ist OBEN und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei dieser Platte zeichnet sich der Streifen bei den Messungen mit 0,05 Hz bei ca. 1,60mm und 0,03 Hz bei ca. 2,06 mm Eindringtiefe gleichermaßen ab was darauf schließen lässt das die Folie dazwischen in der Nähe der Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



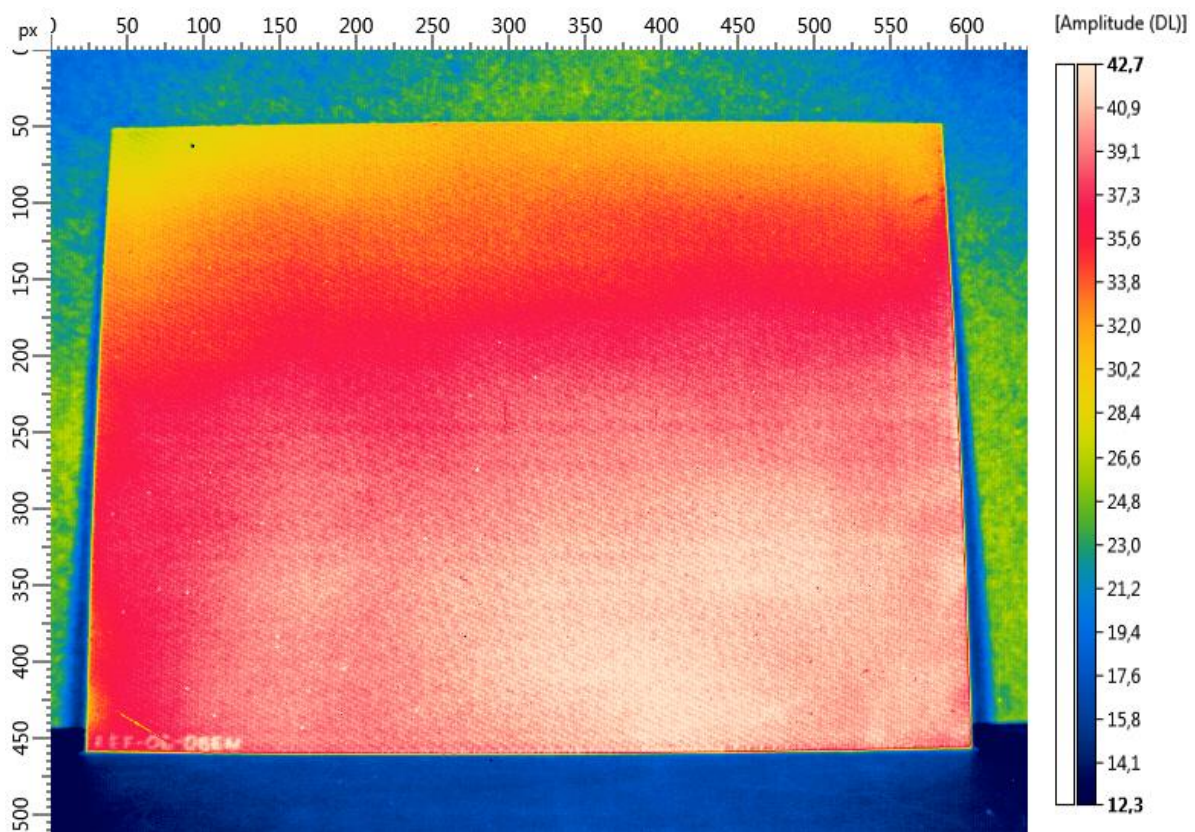
## 4.7. REF-06

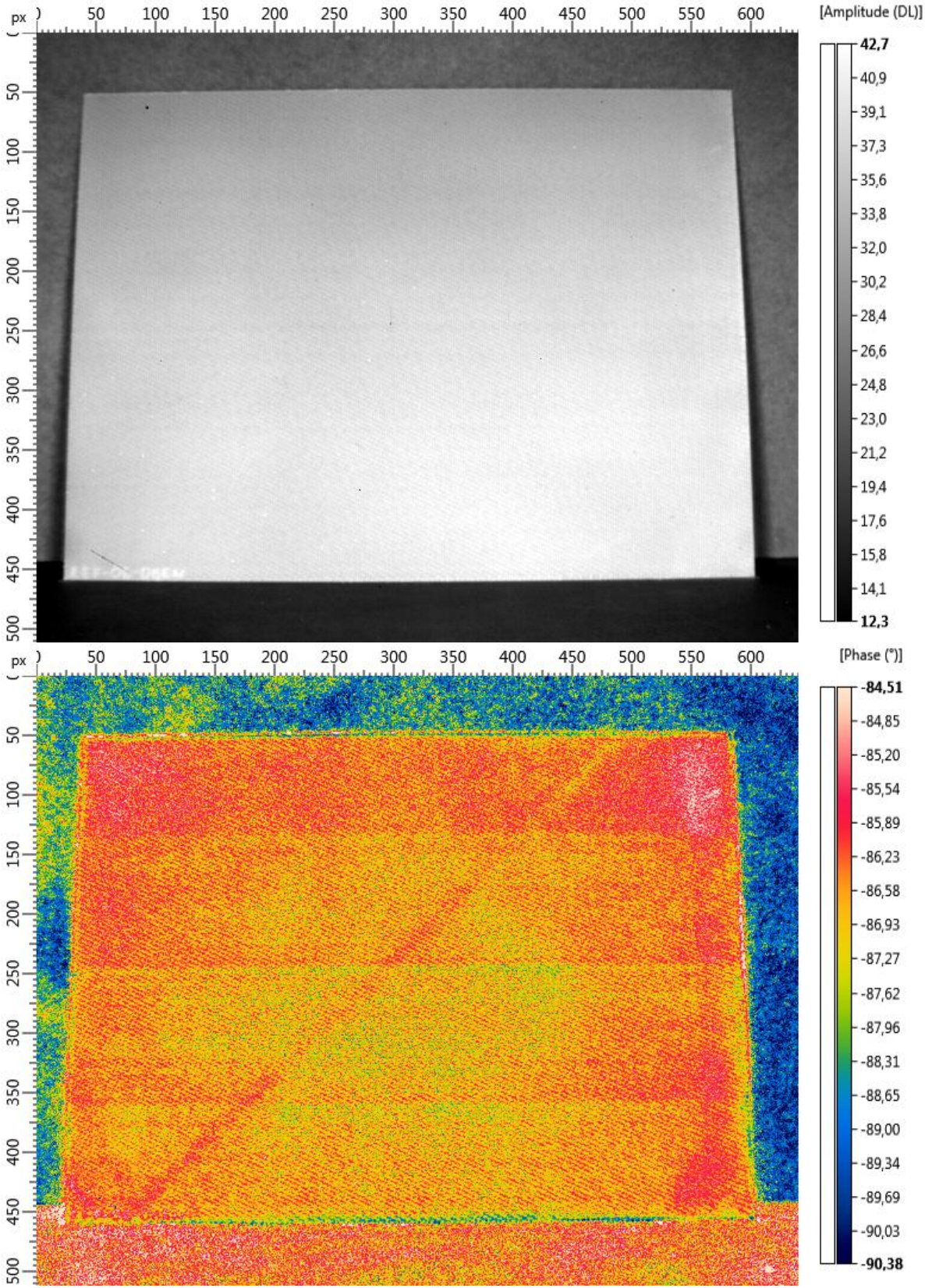
Tabelle 7: Dickenmessung REF-06

3,6 mm	3,5 mm
3,6 mm	3,7 mm

### 4.7.1. Messung von OBEN

#### 4.7.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







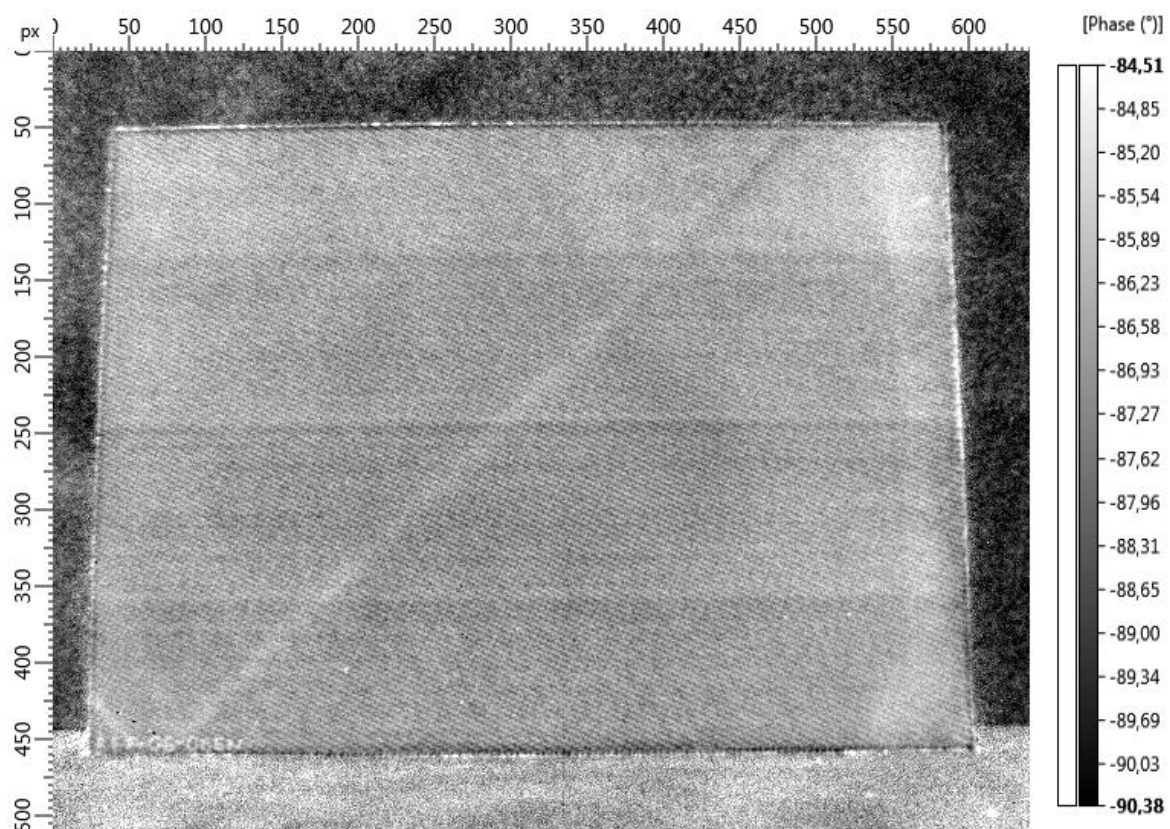
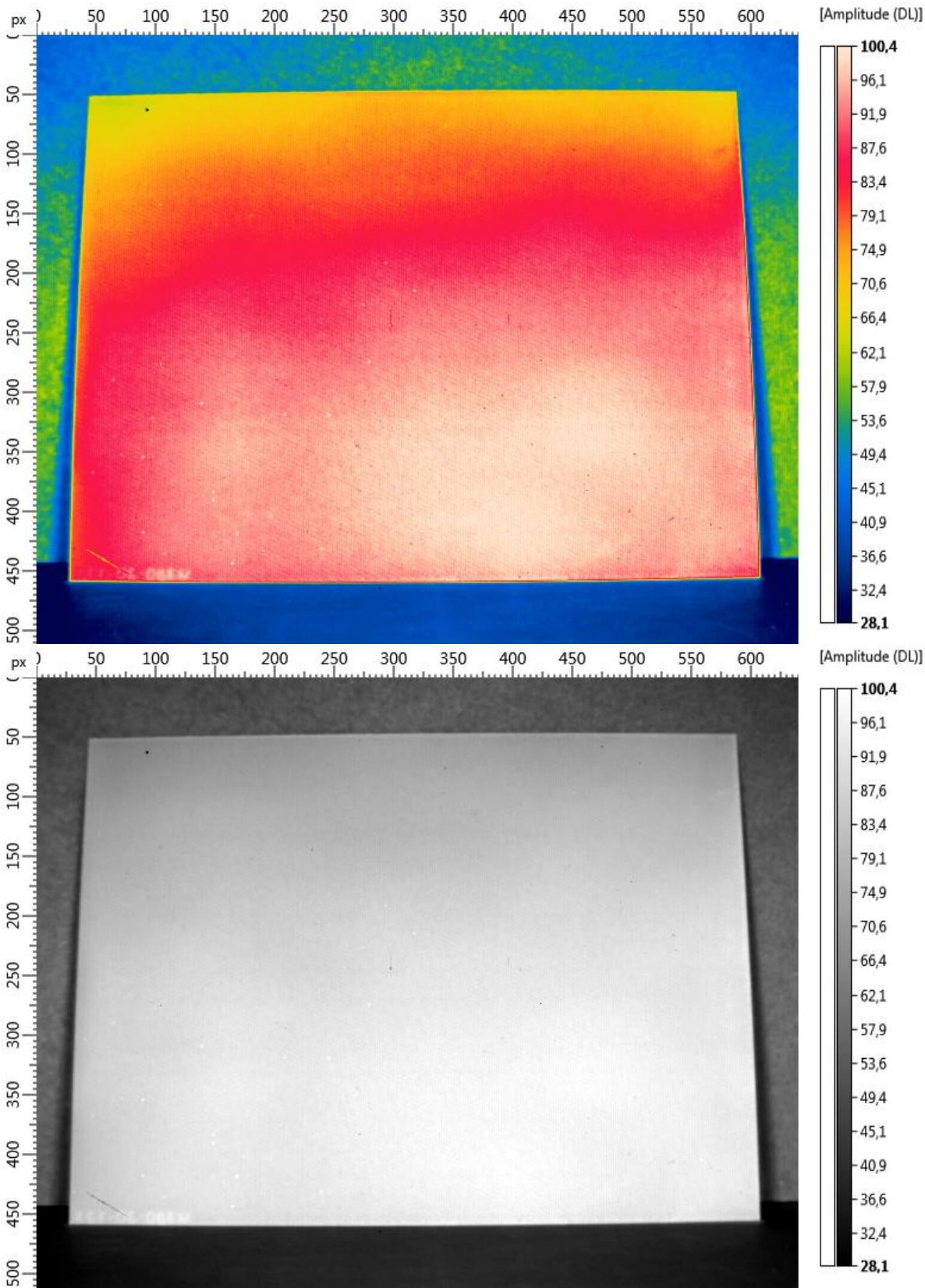


Abbildung 64: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.7.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





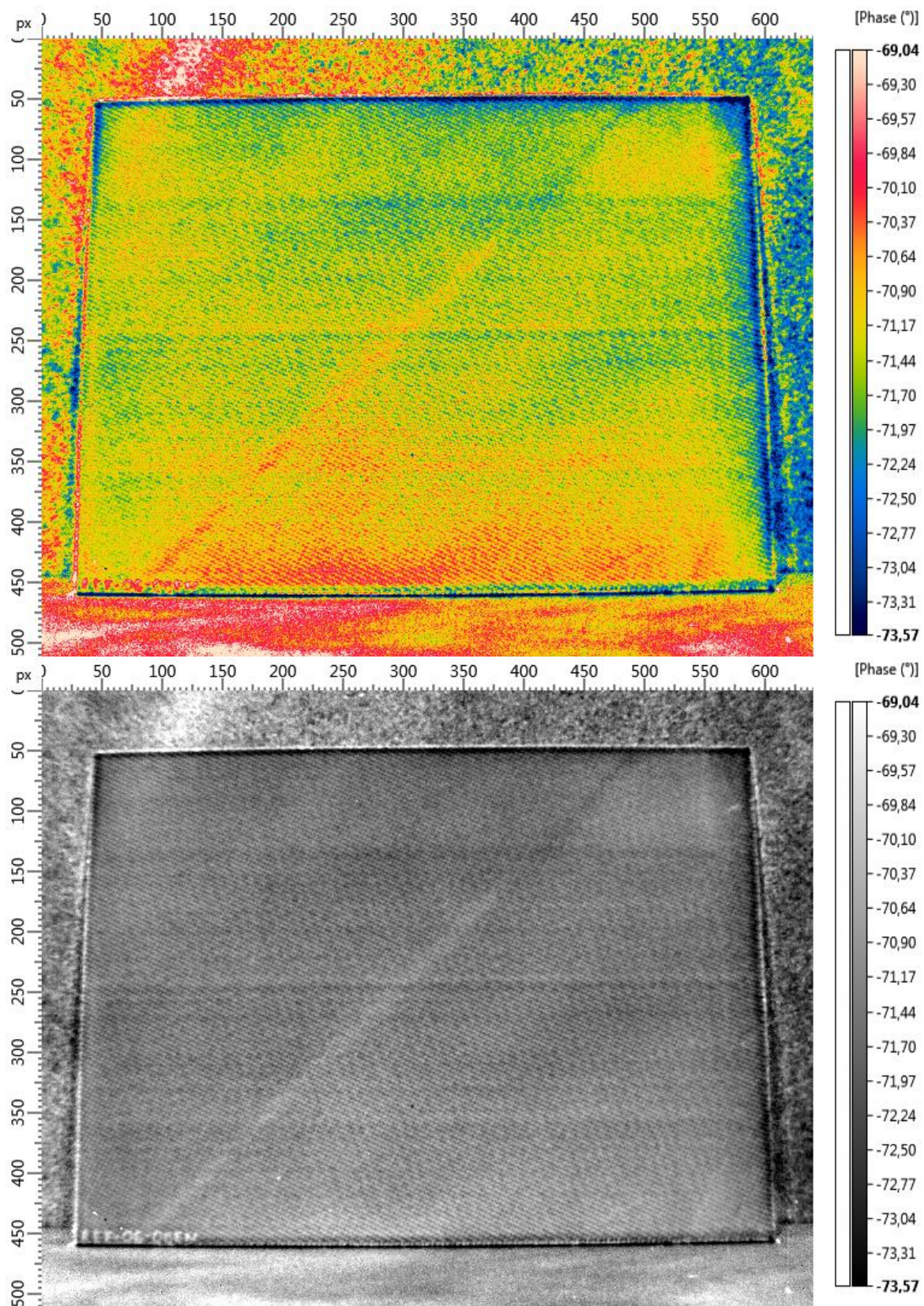
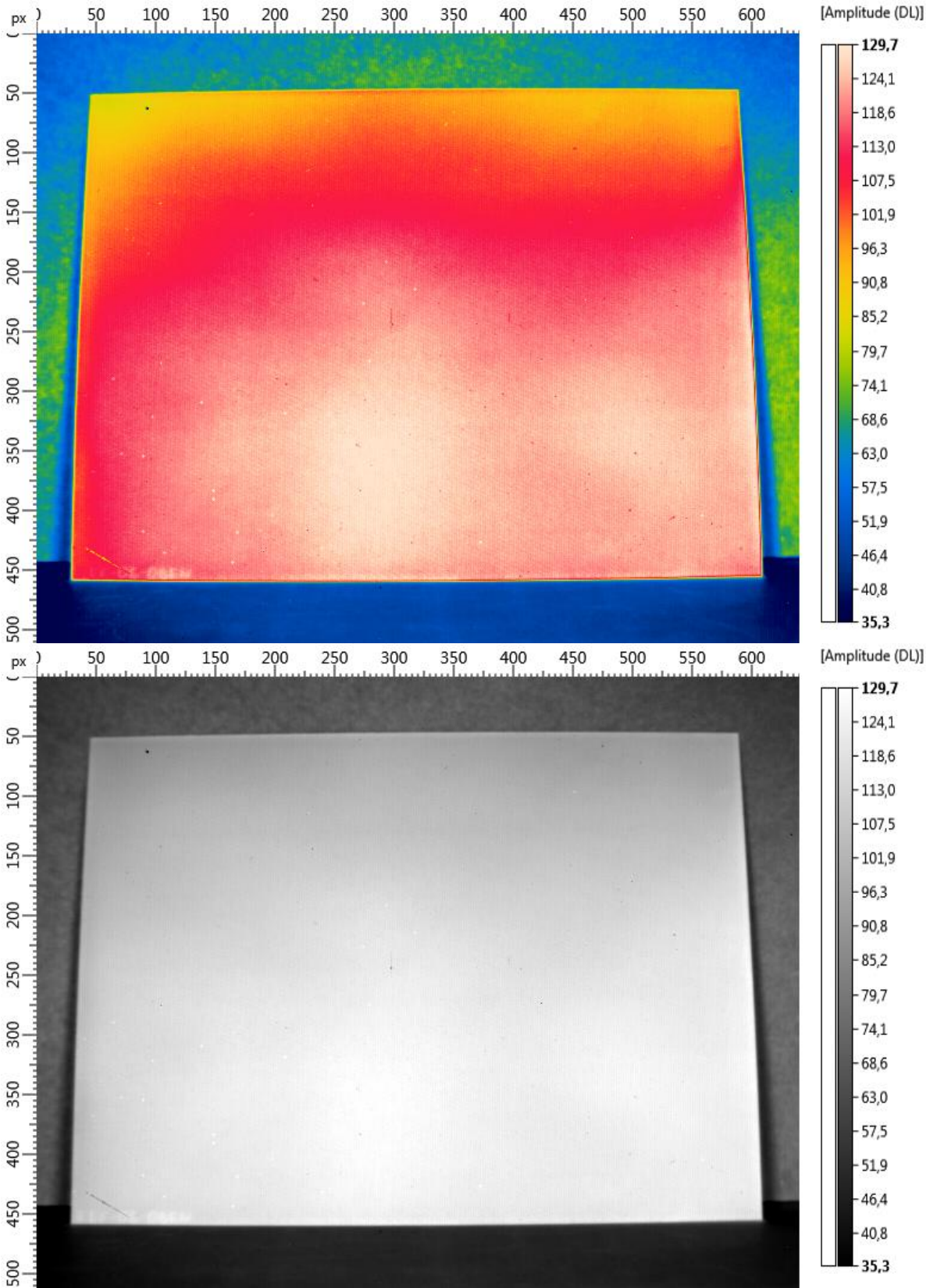


Abbildung 65: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



**4.7.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm**





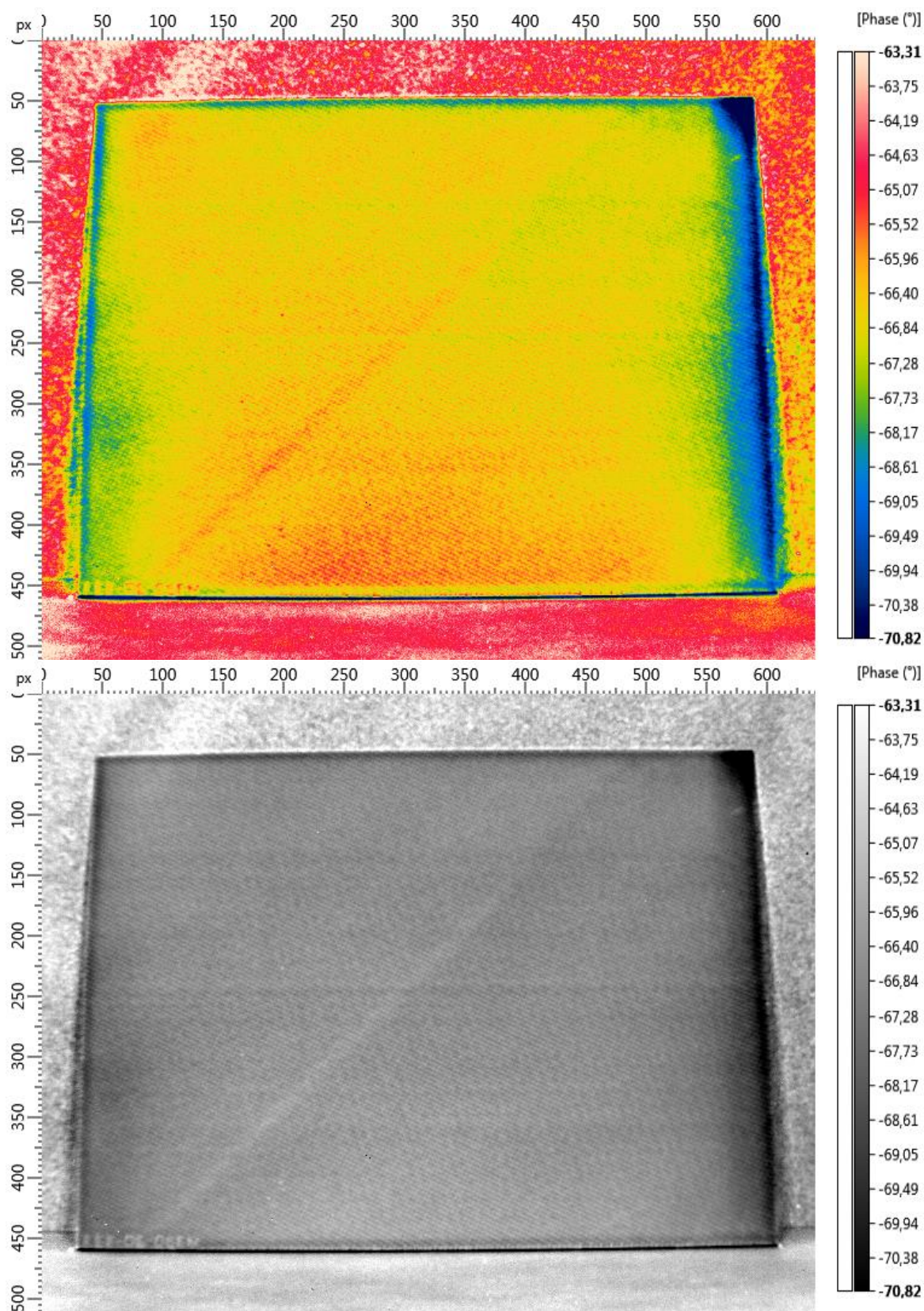
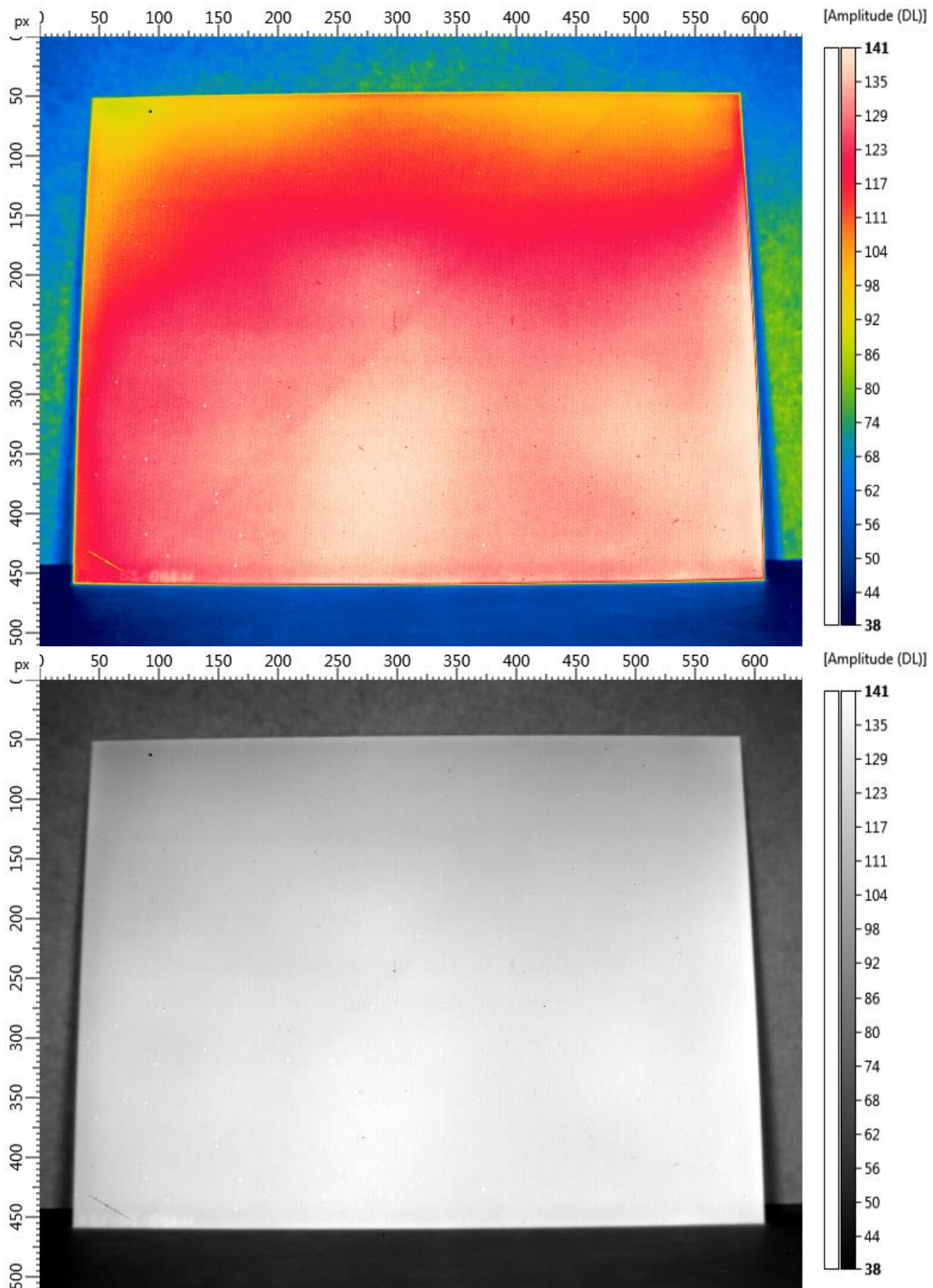


Abbildung 66: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

**4.7.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm**



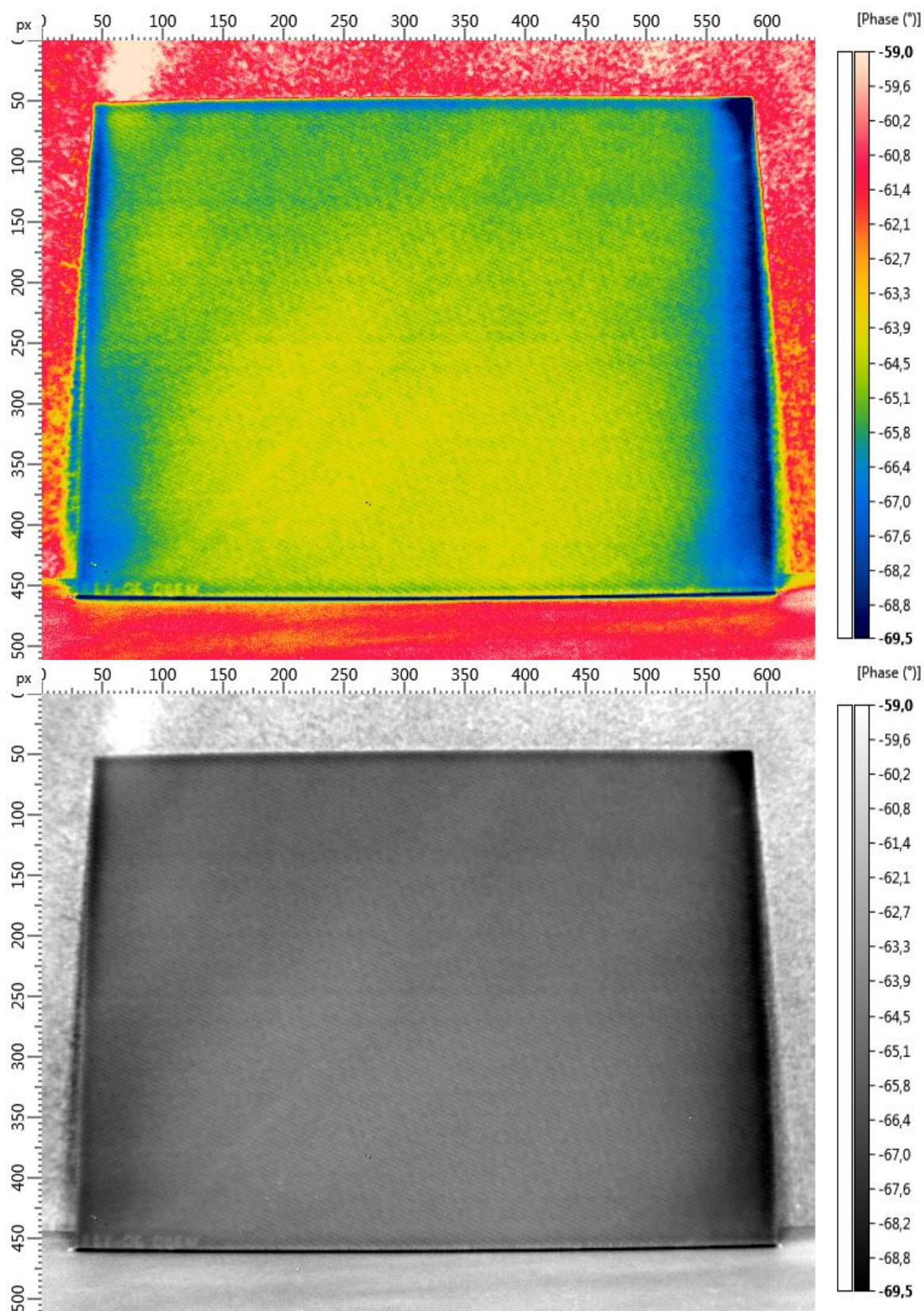
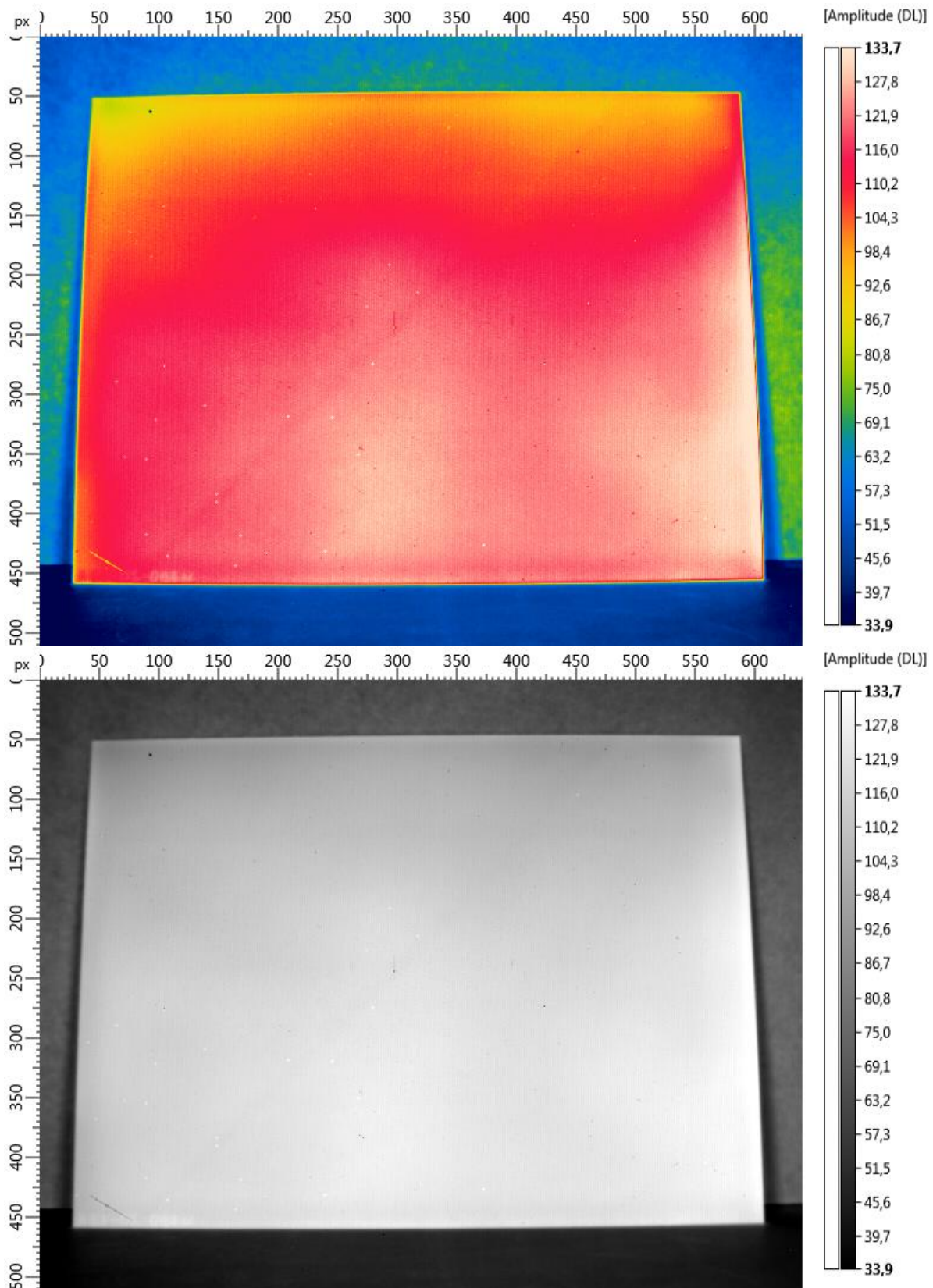


Abbildung 67: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

#### 4.7.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





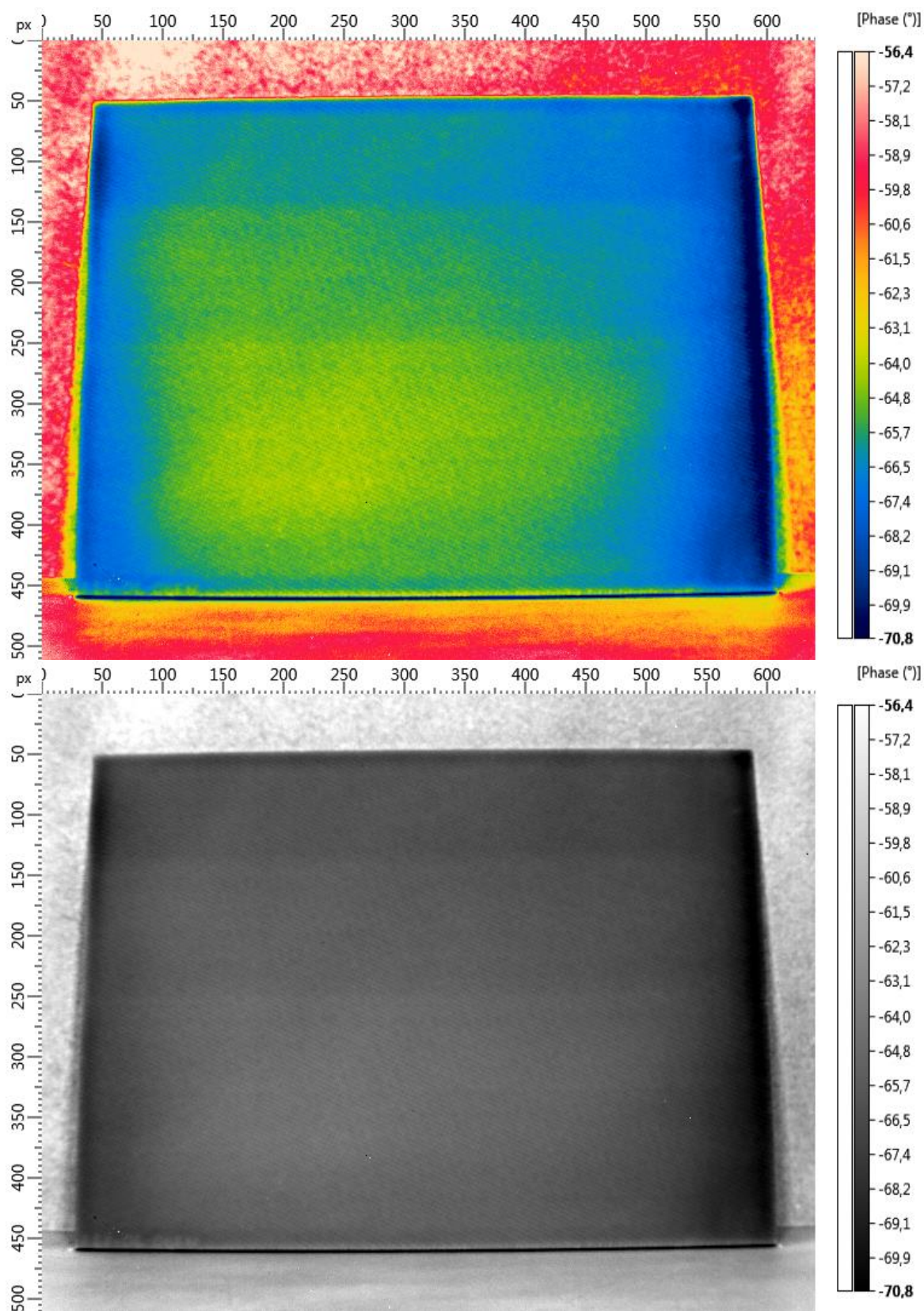
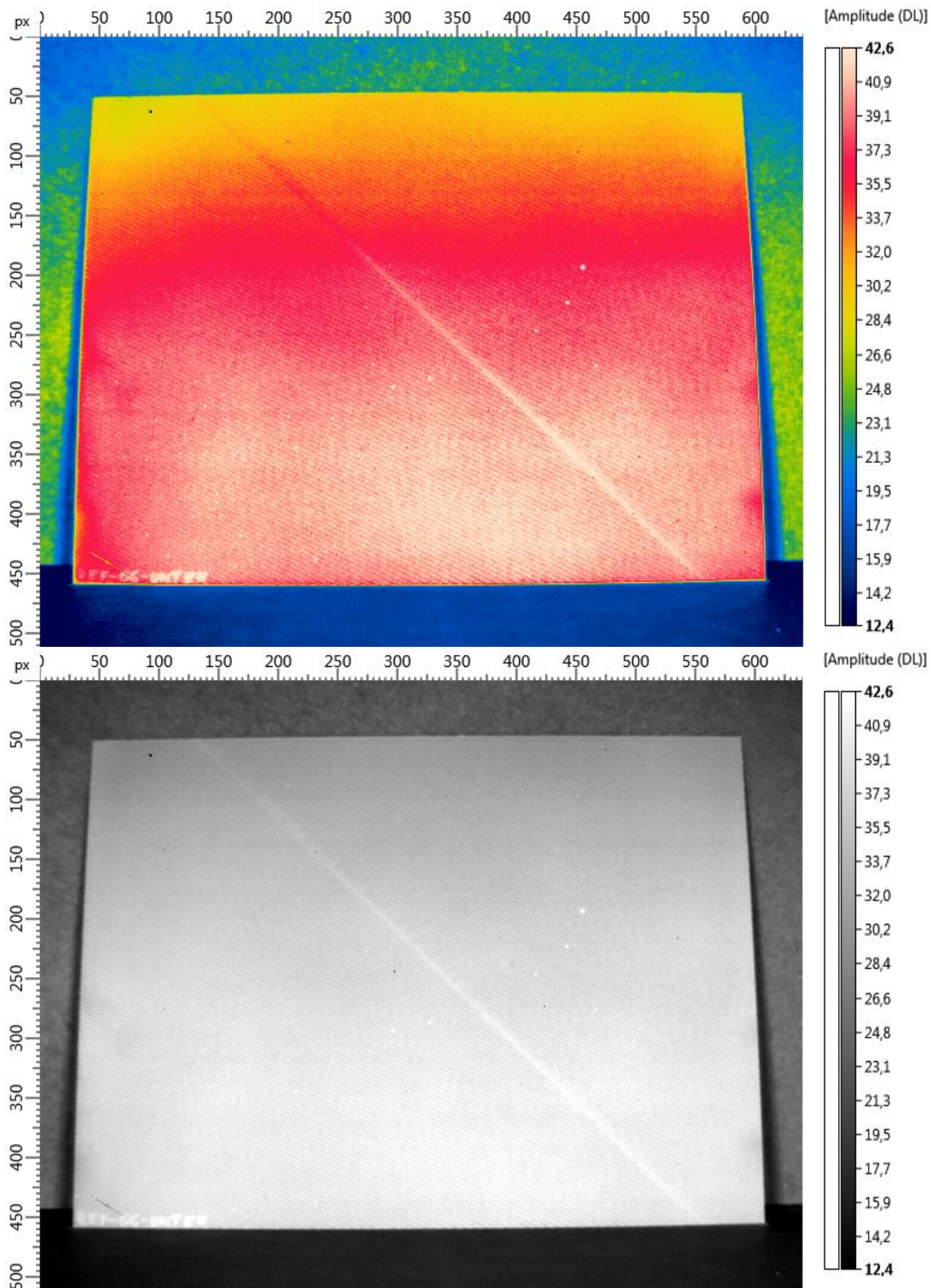


Abbildung 68: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.7.2. Messungen von UNTEN

### 4.7.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





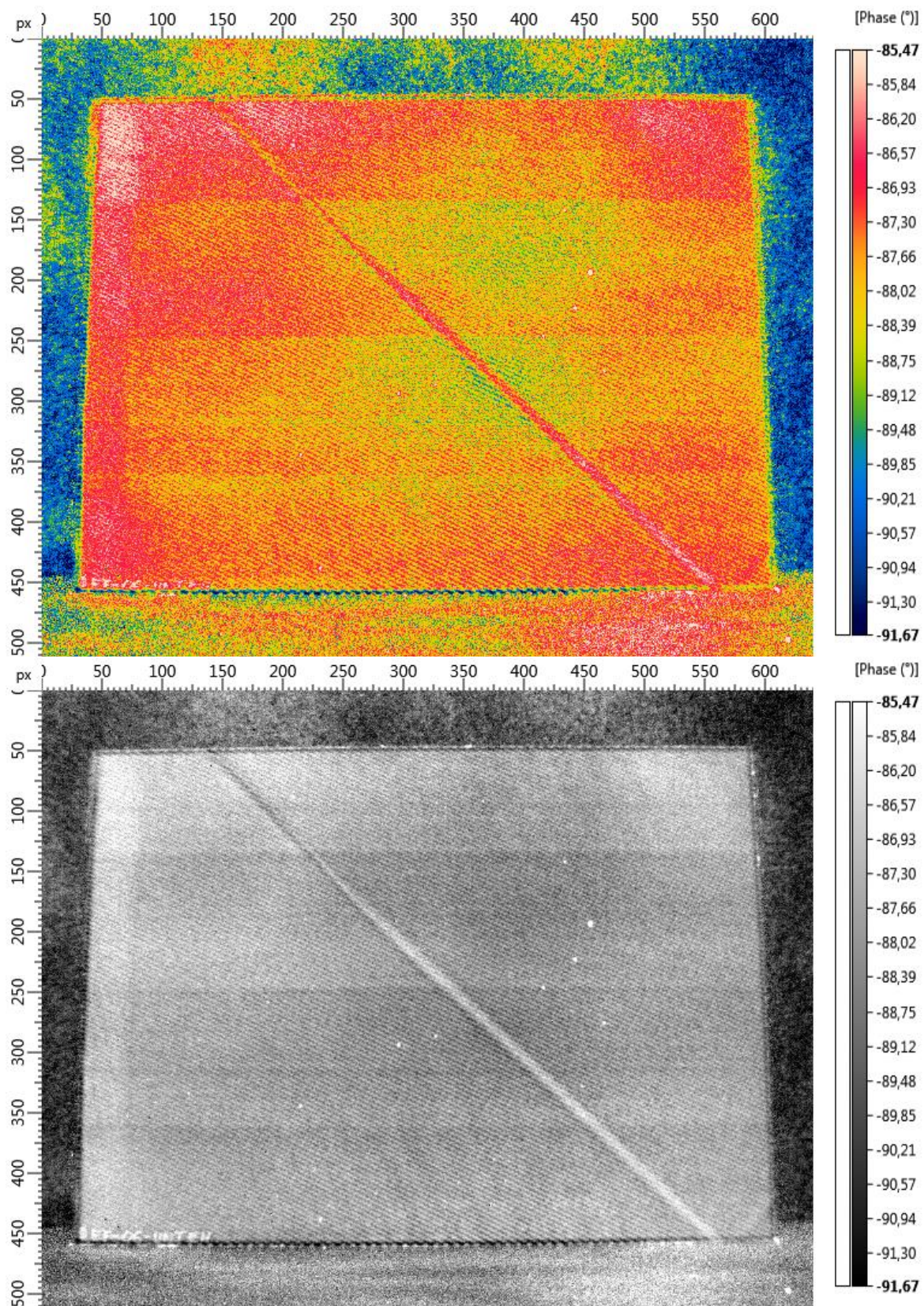
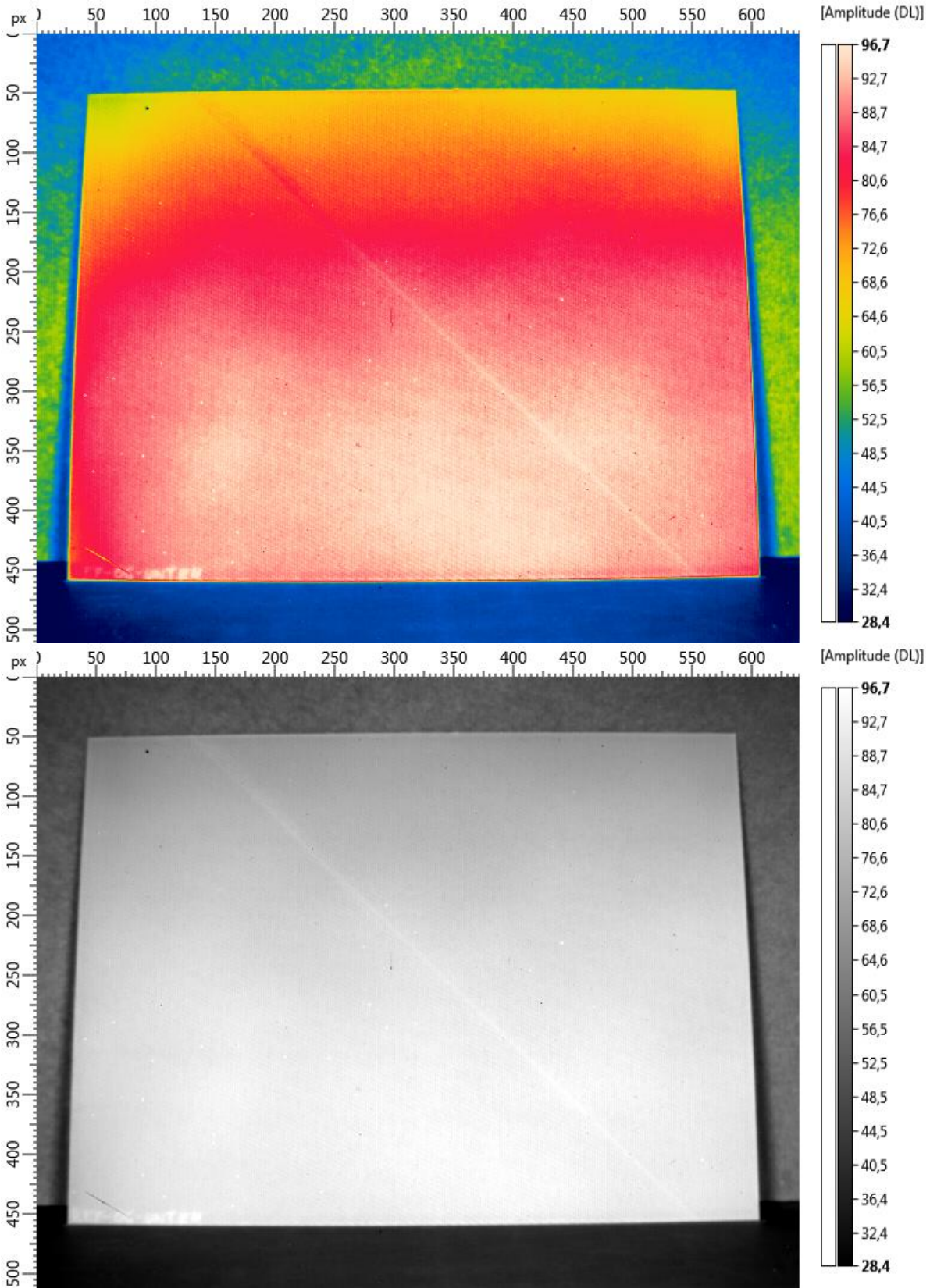


Abbildung 69: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



4.7.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





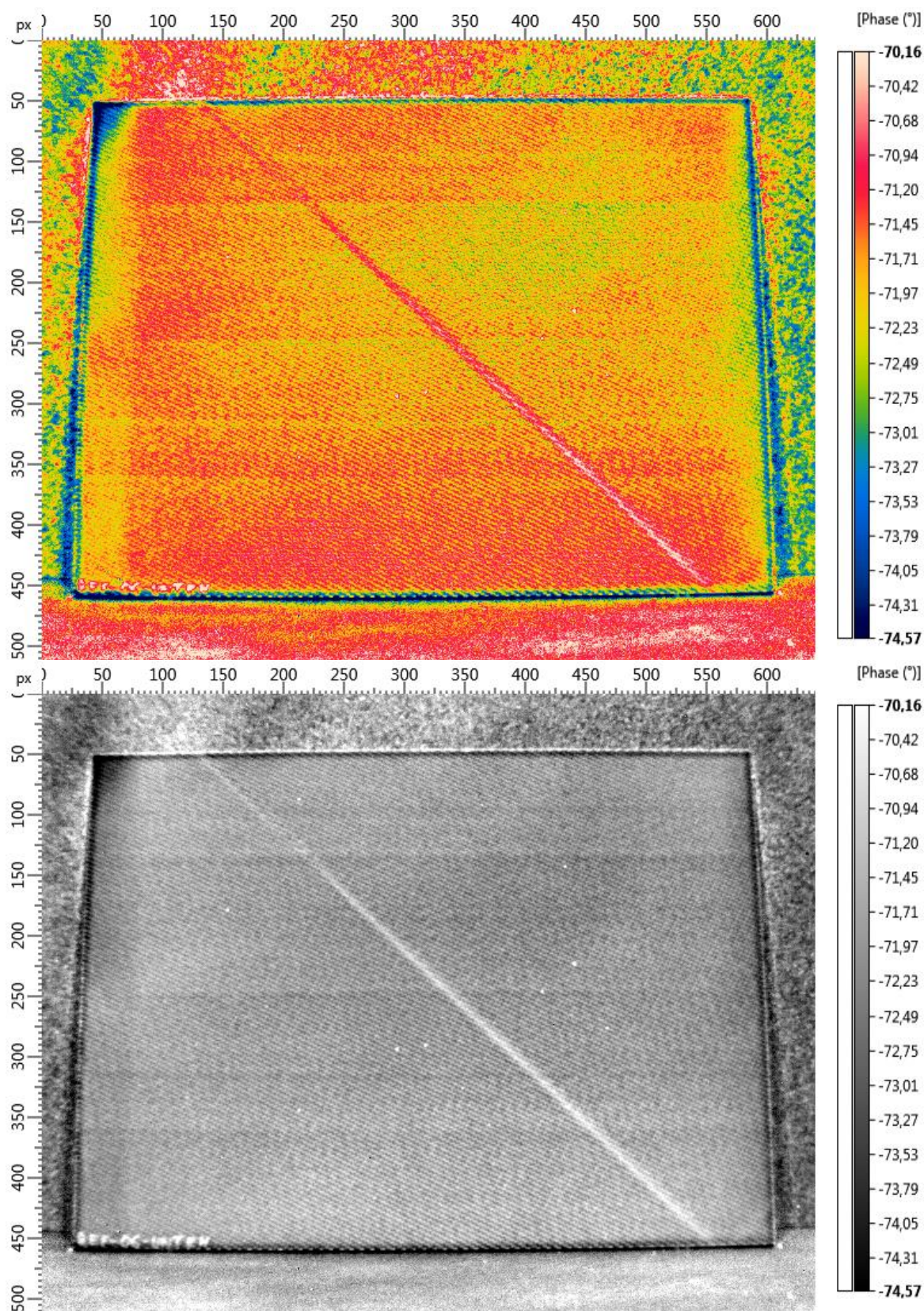
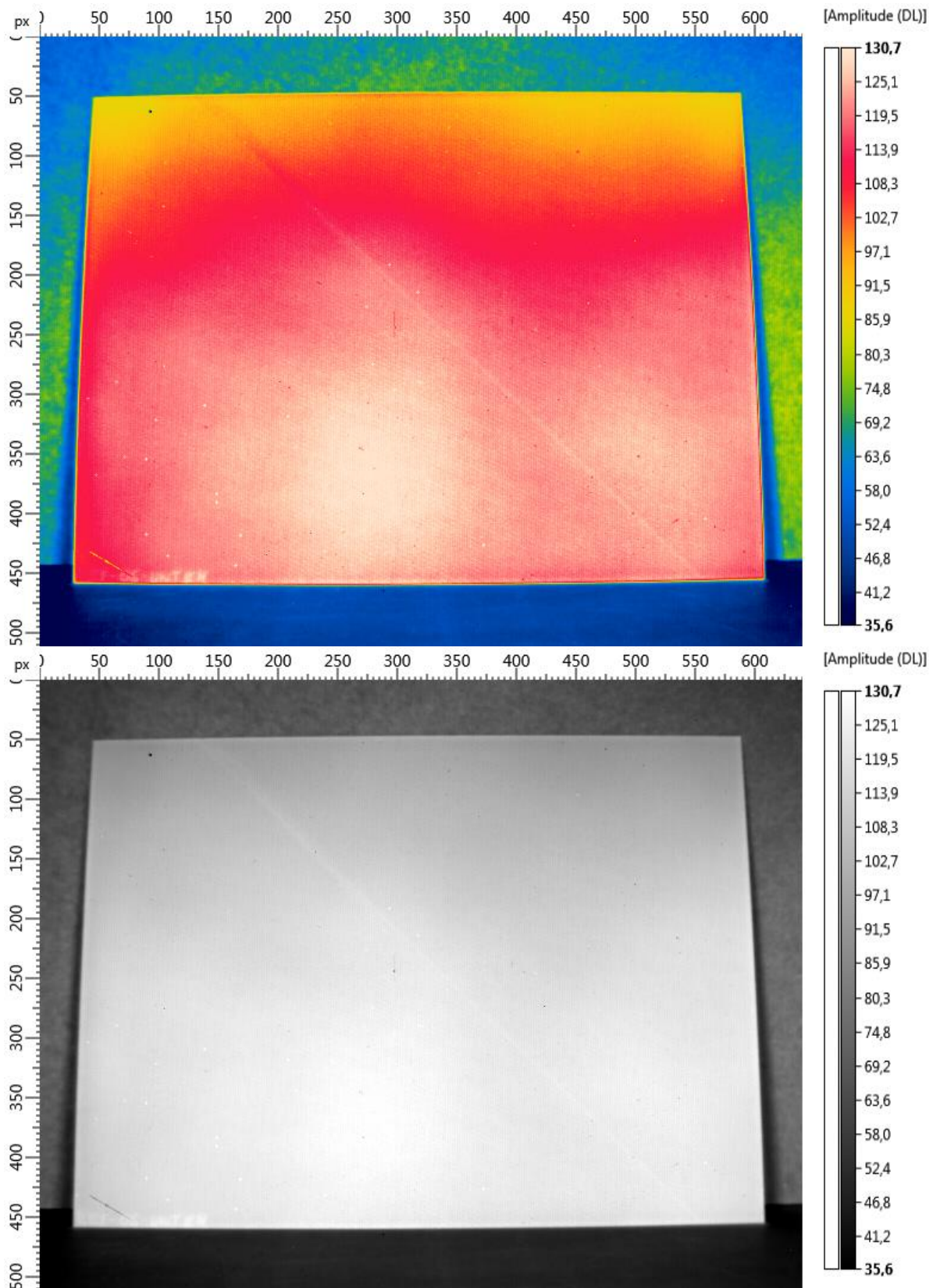


Abbildung 70: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



#### 4.7.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





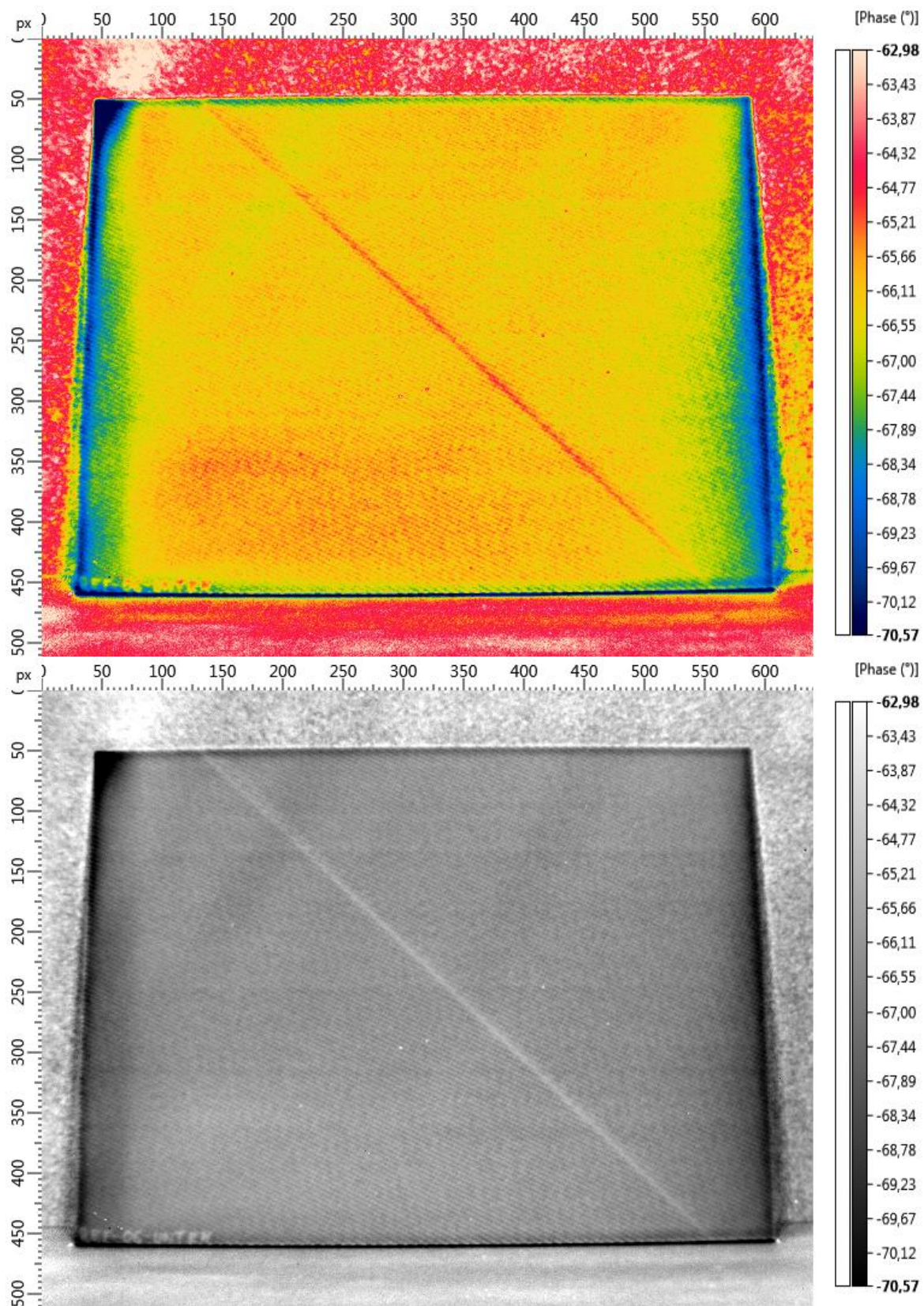
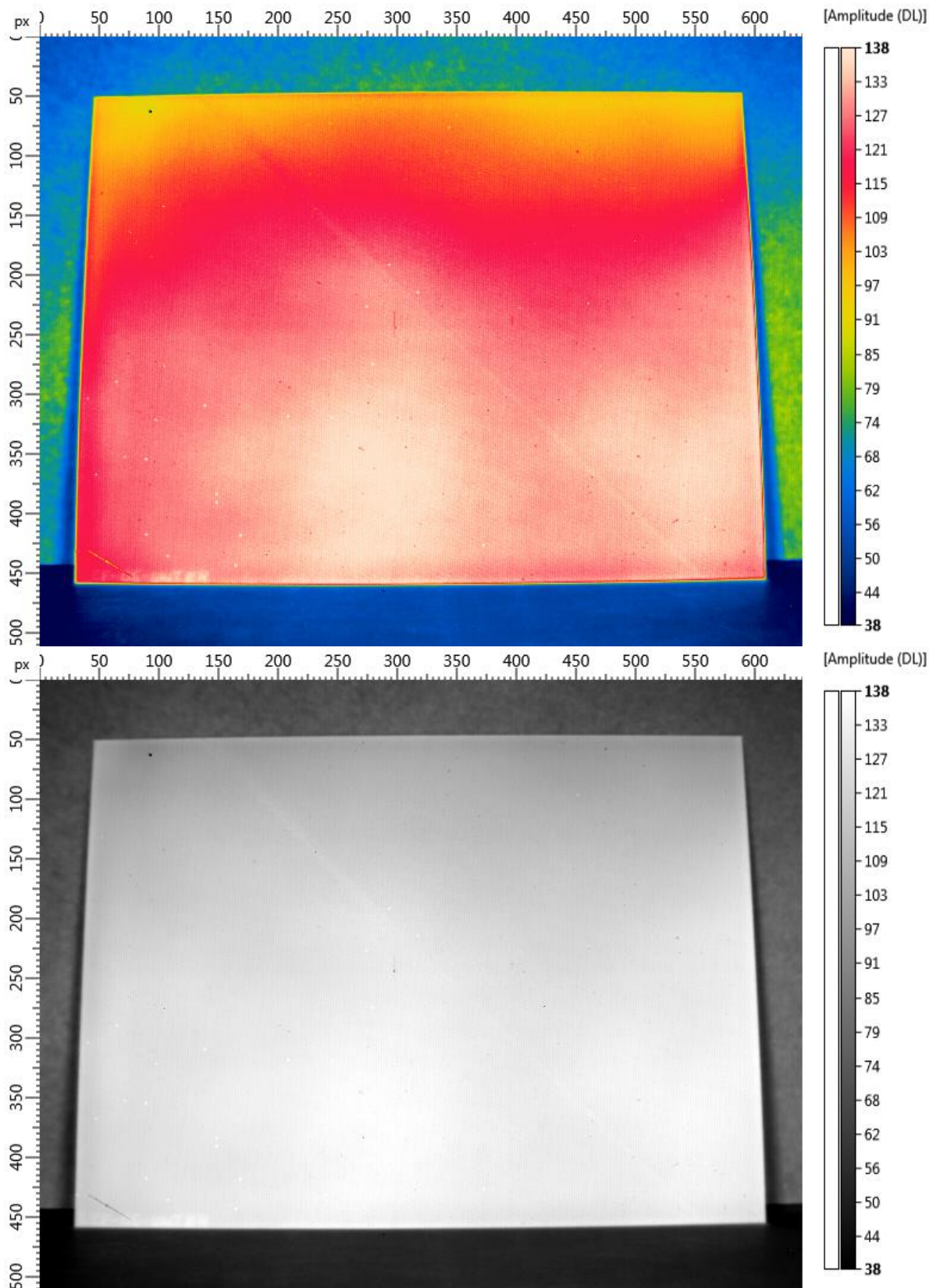


Abbildung 71: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,05\text{Hz} = 1,60\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

#### 4.7.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





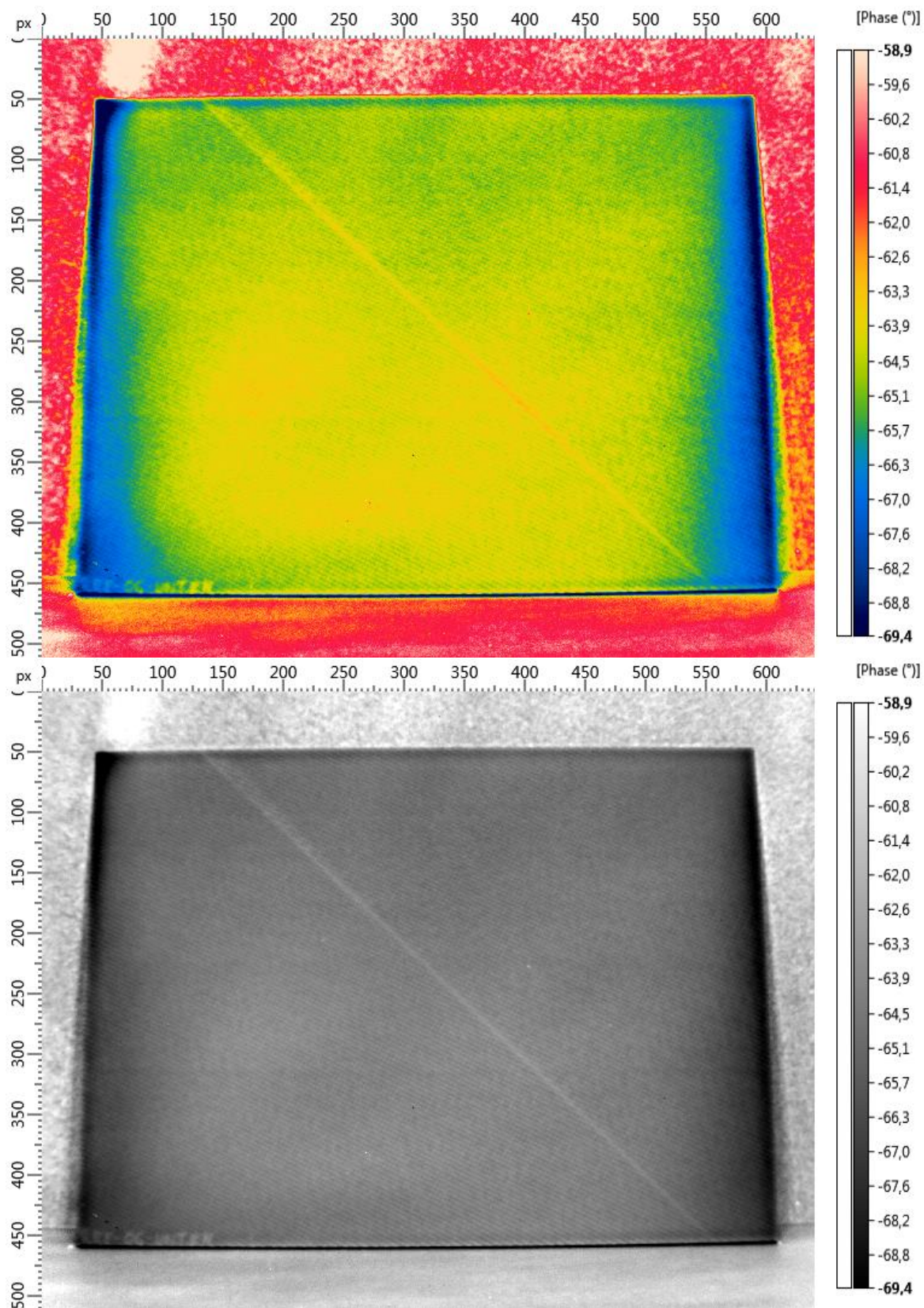
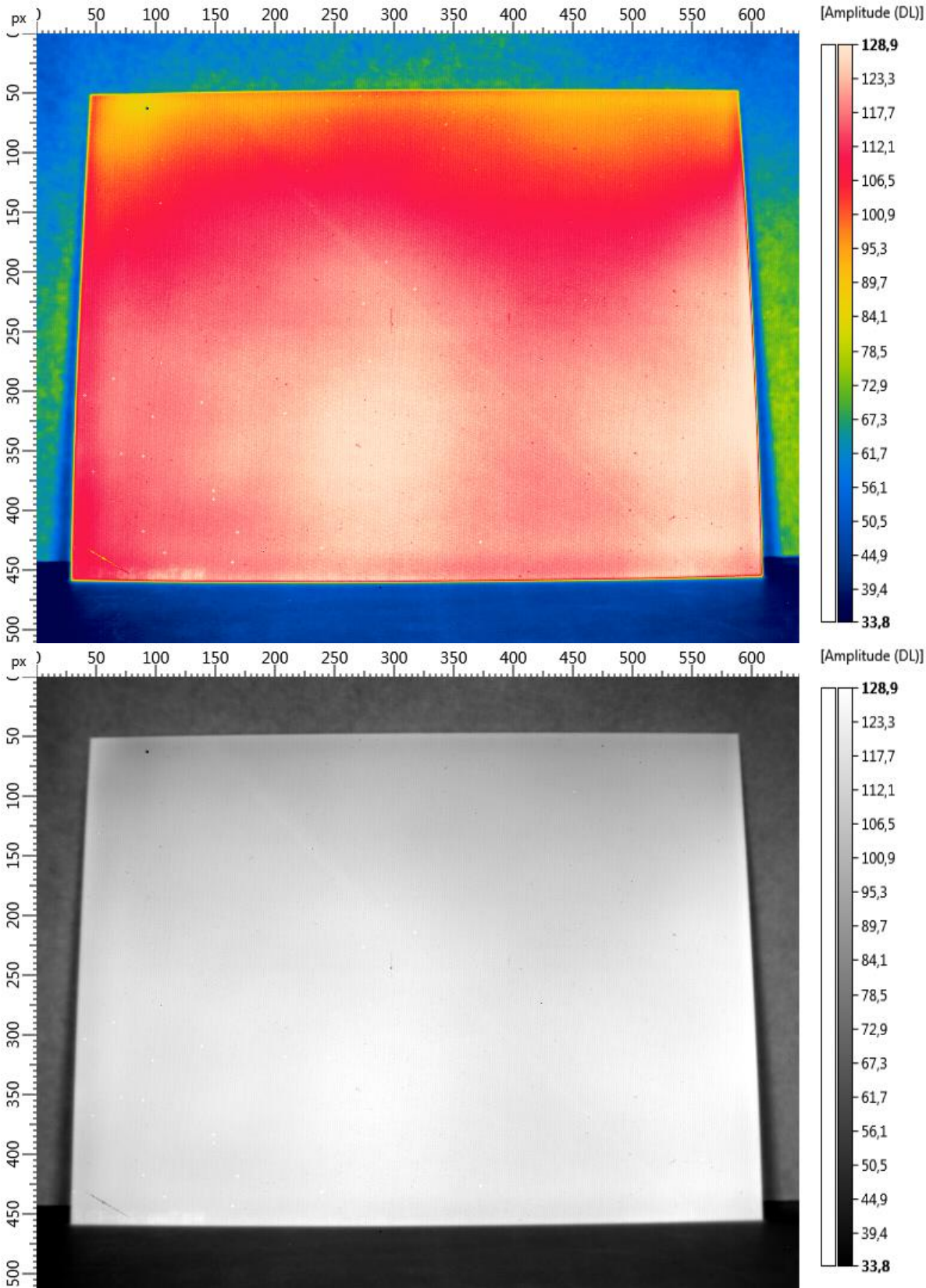


Abbildung 72: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,03\text{Hz} = 2,06\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

4.7.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





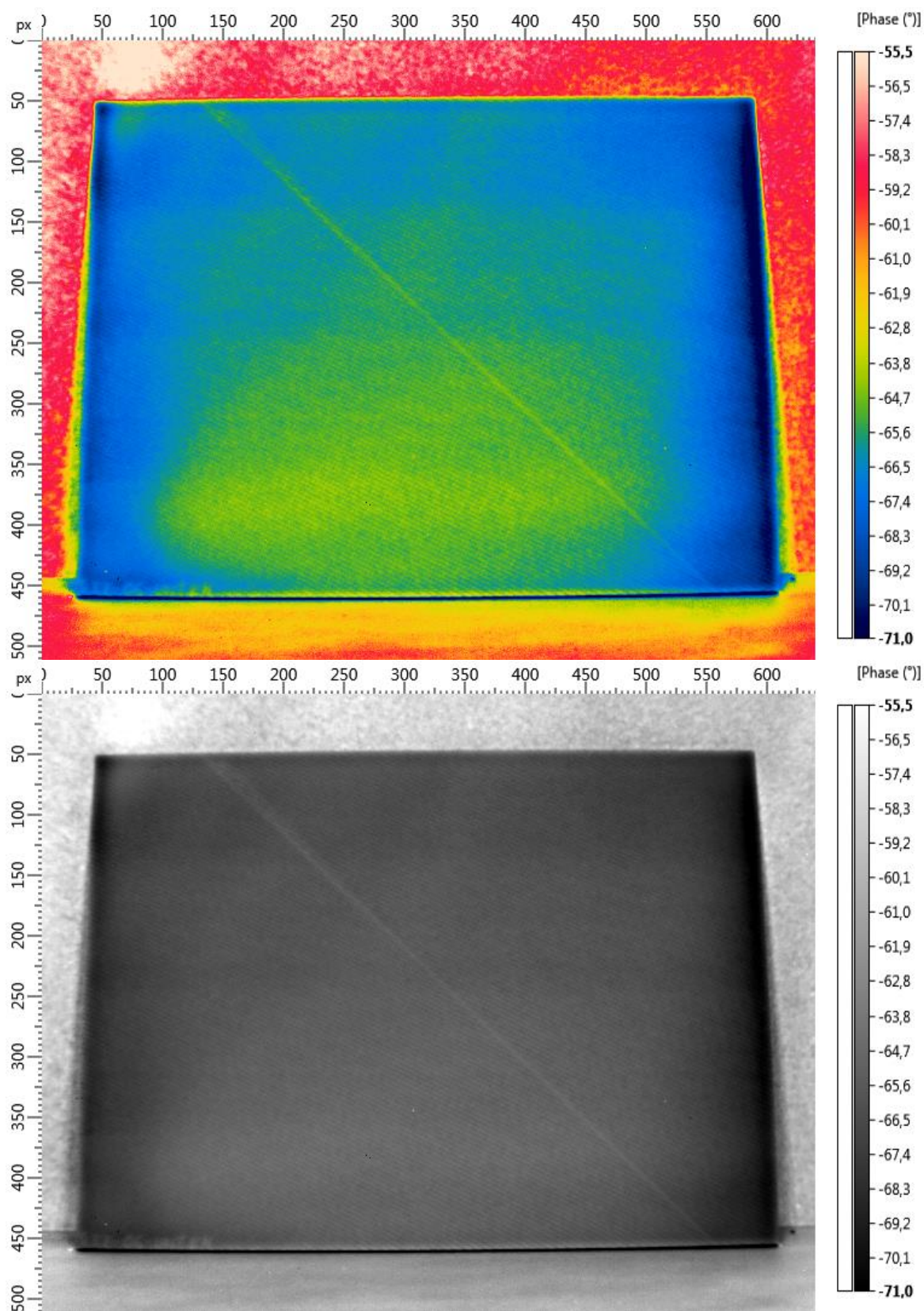


Abbildung 73: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.7.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der rechten Seite ein ca. 44 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 39 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 39 mm auf der linken Seite erkennbar. Ebenso ist OBEN und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei dieser Platte zeichnet sich der Streifen bei den Messungen mit 0,05 Hz bei ca. 1,60mm und 0,03 Hz bei ca. 2,06 mm Eindringtiefe gleichermaßen ab was darauf schließen lässt das die Folie dazwischen in der Nähe der Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



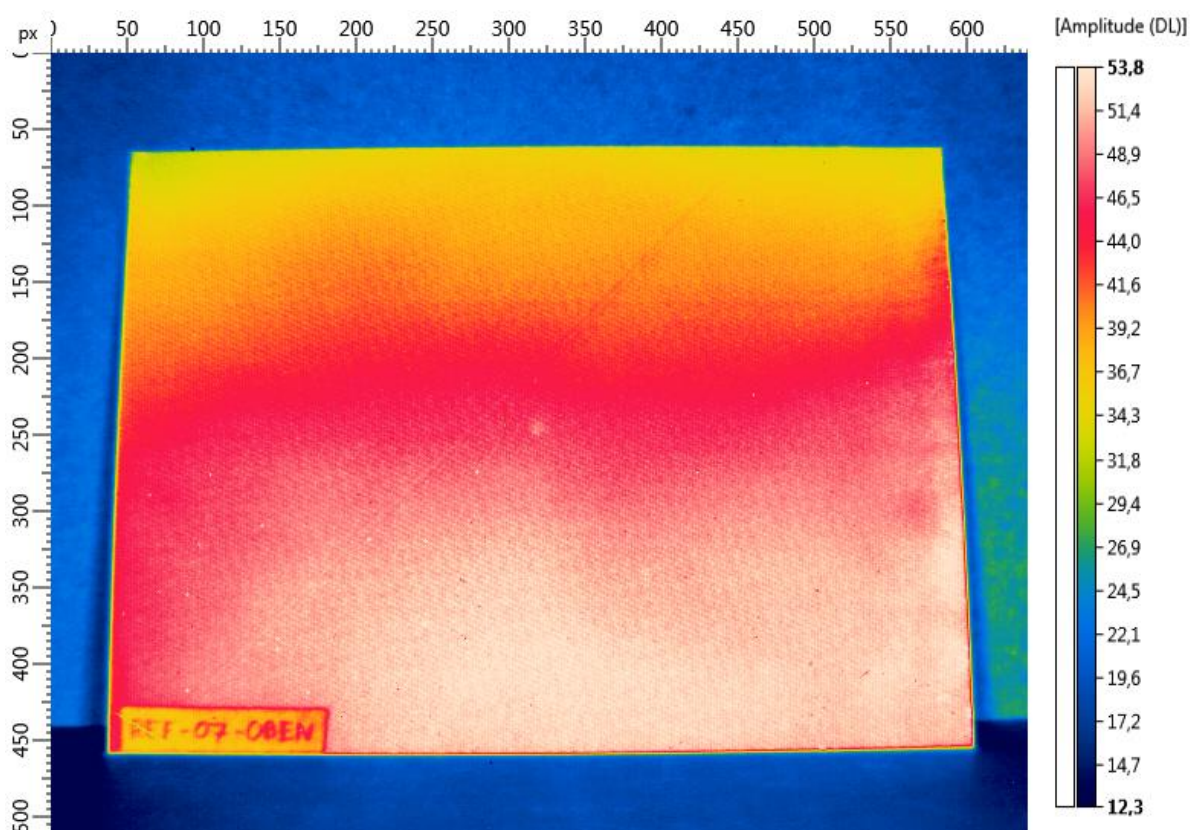
## 4.8. REF-07

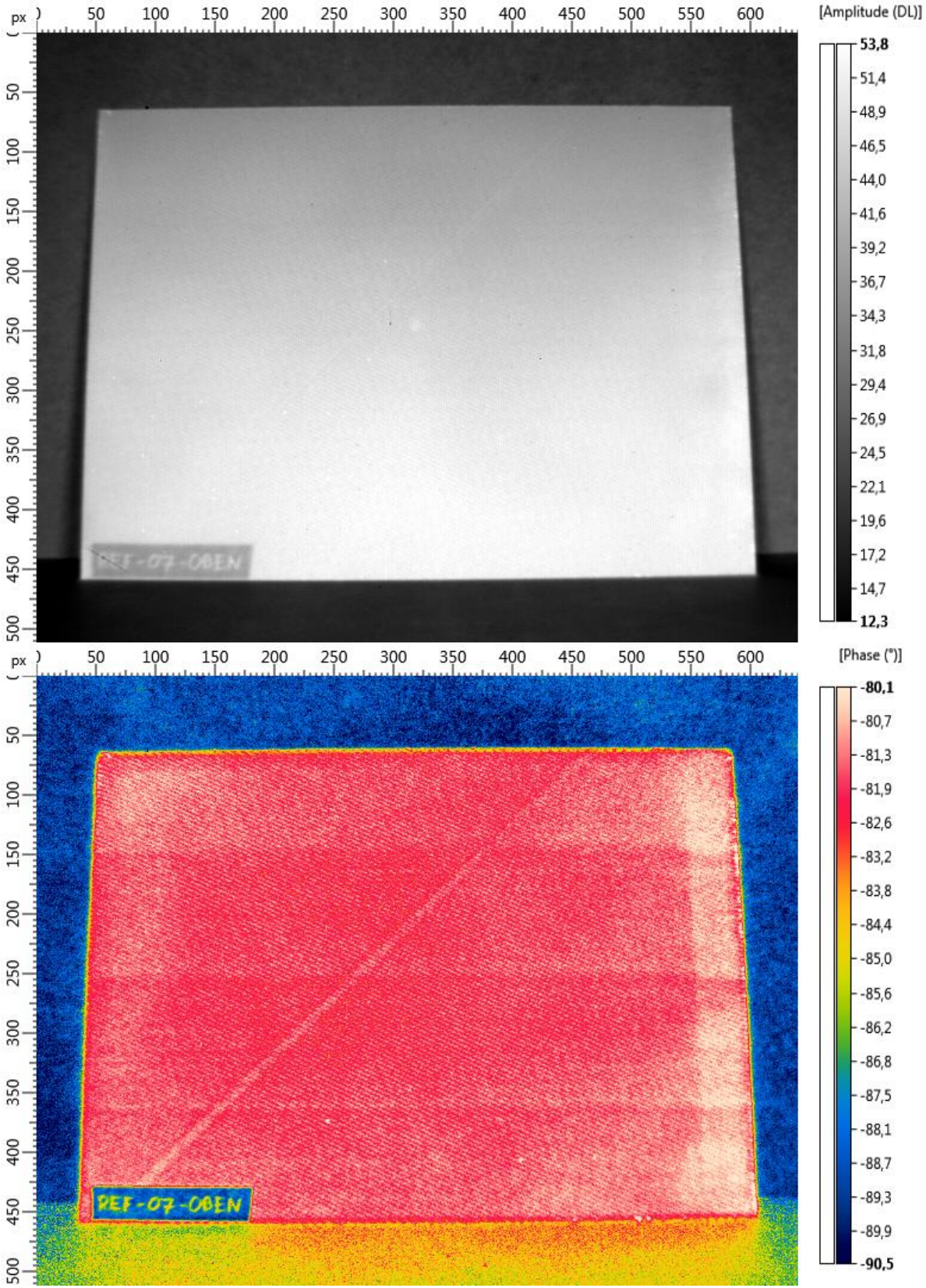
Tabelle 8: Dickenmessung REF-07

3,2 mm	3,2 mm
3,2 mm	3,2 mm

### 4.8.1. Messung von OBEN

#### 4.8.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







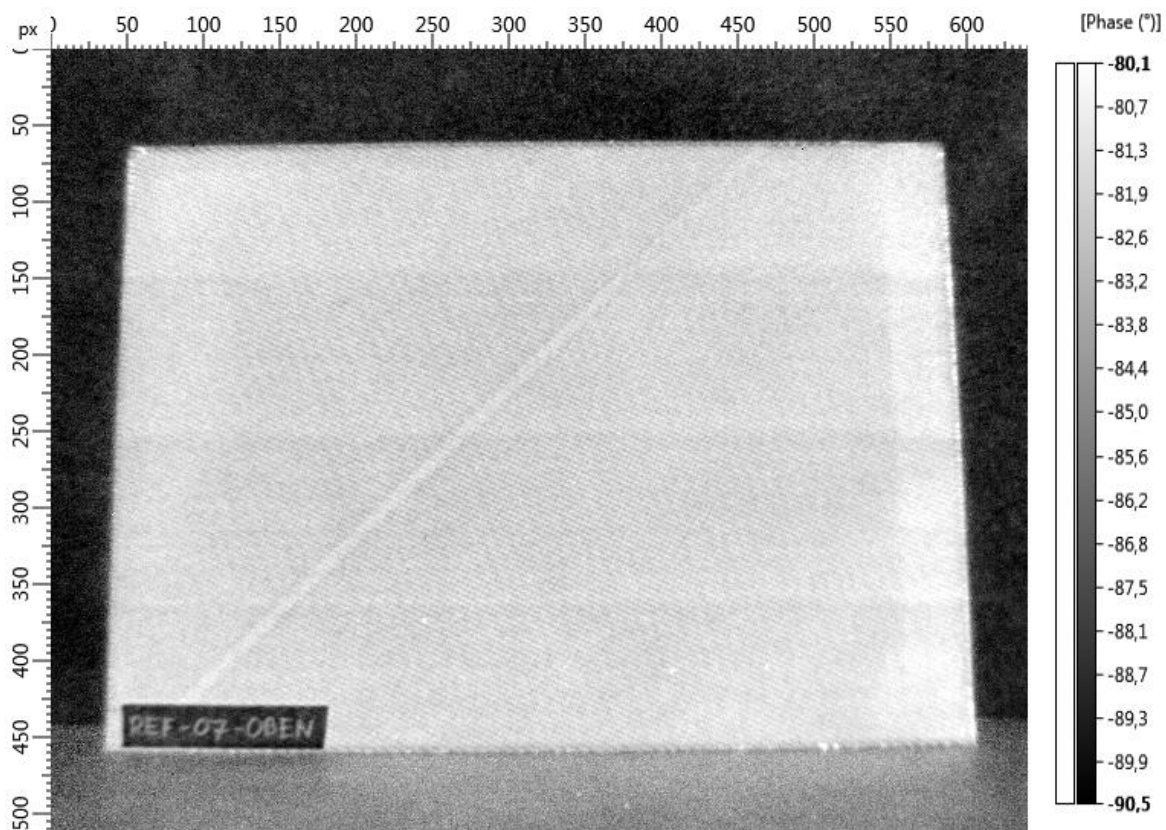
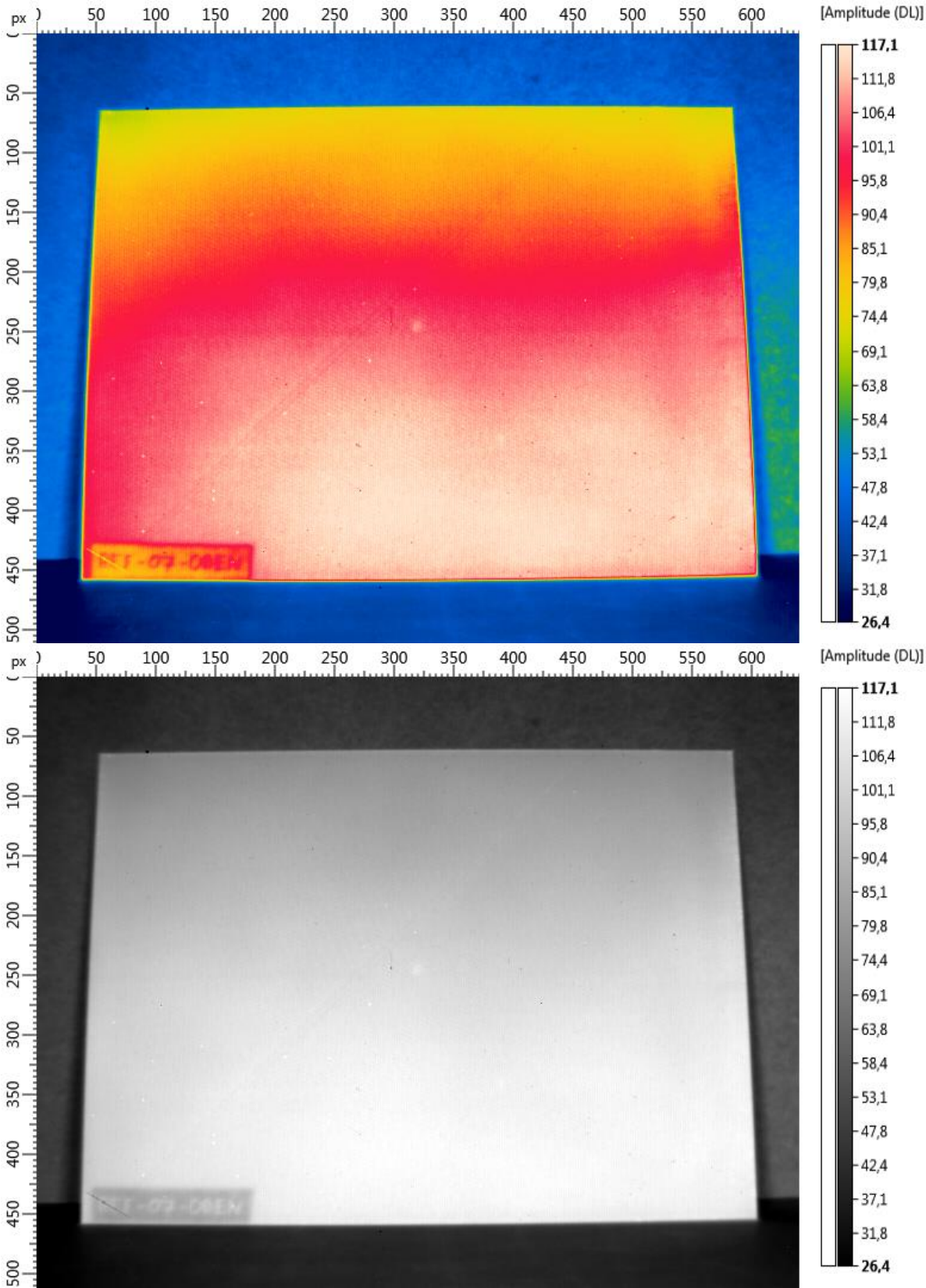


Abbildung 74: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.8.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





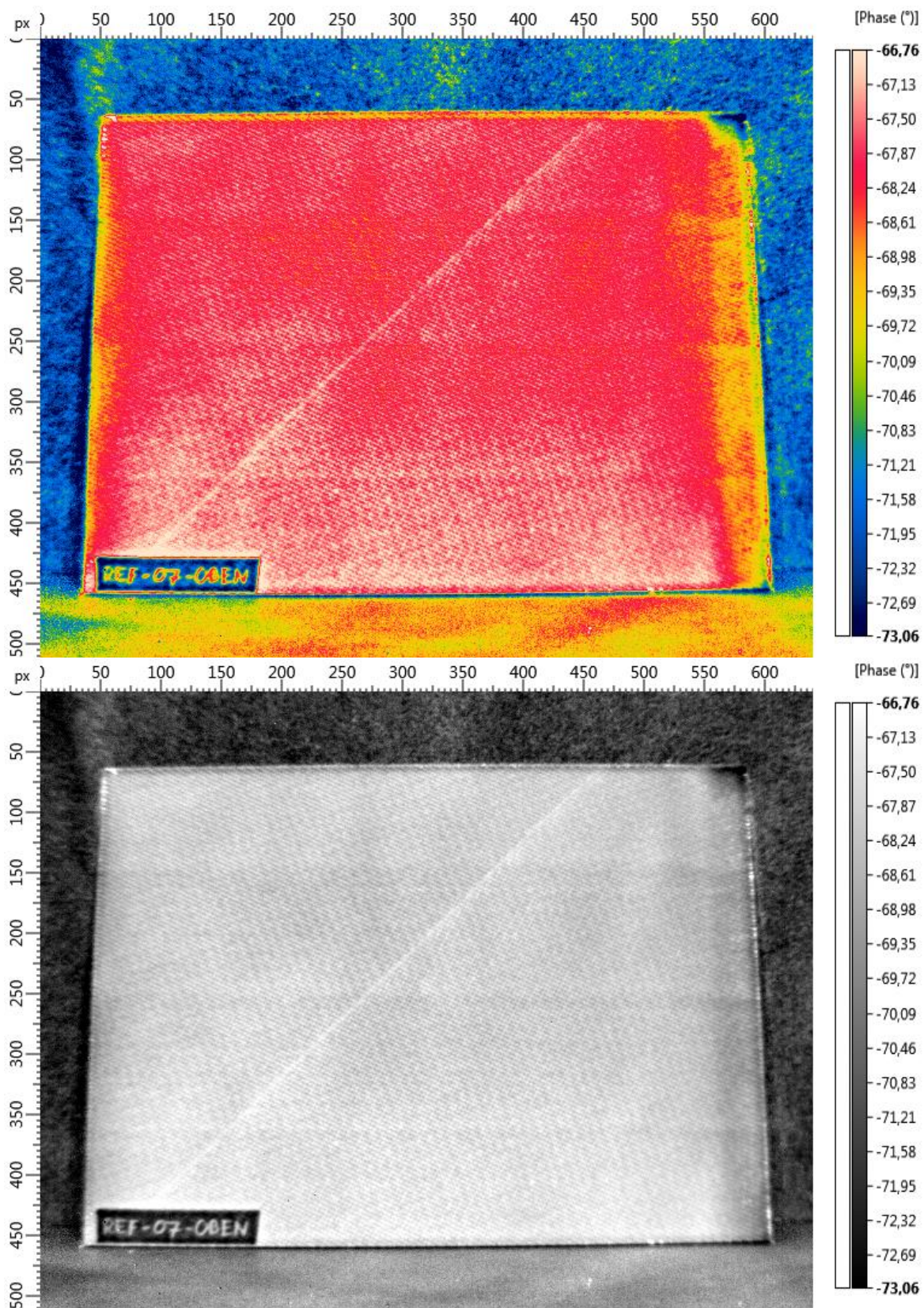
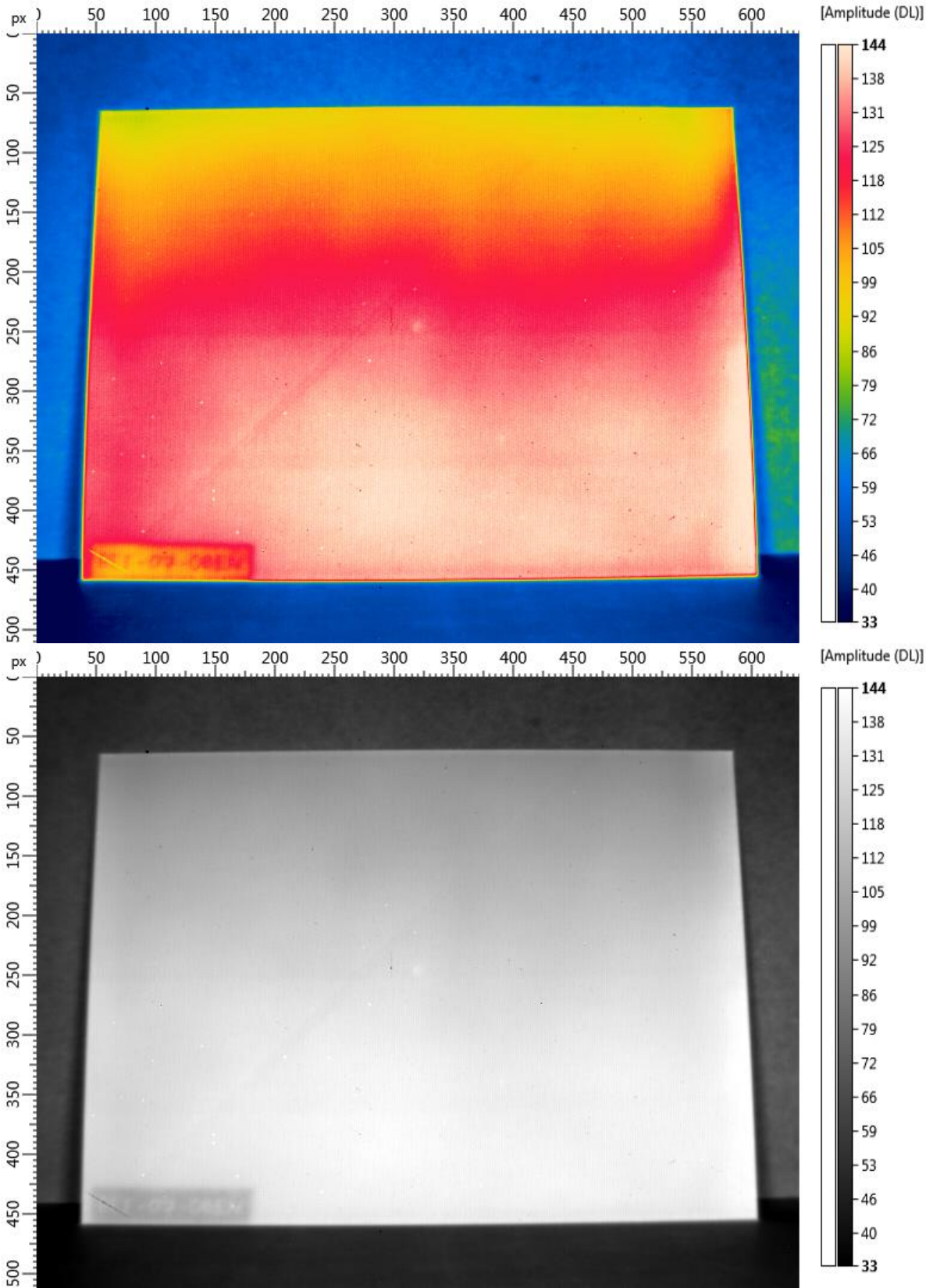


Abbildung 75: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,1\text{Hz} = 1,13\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

4.8.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm





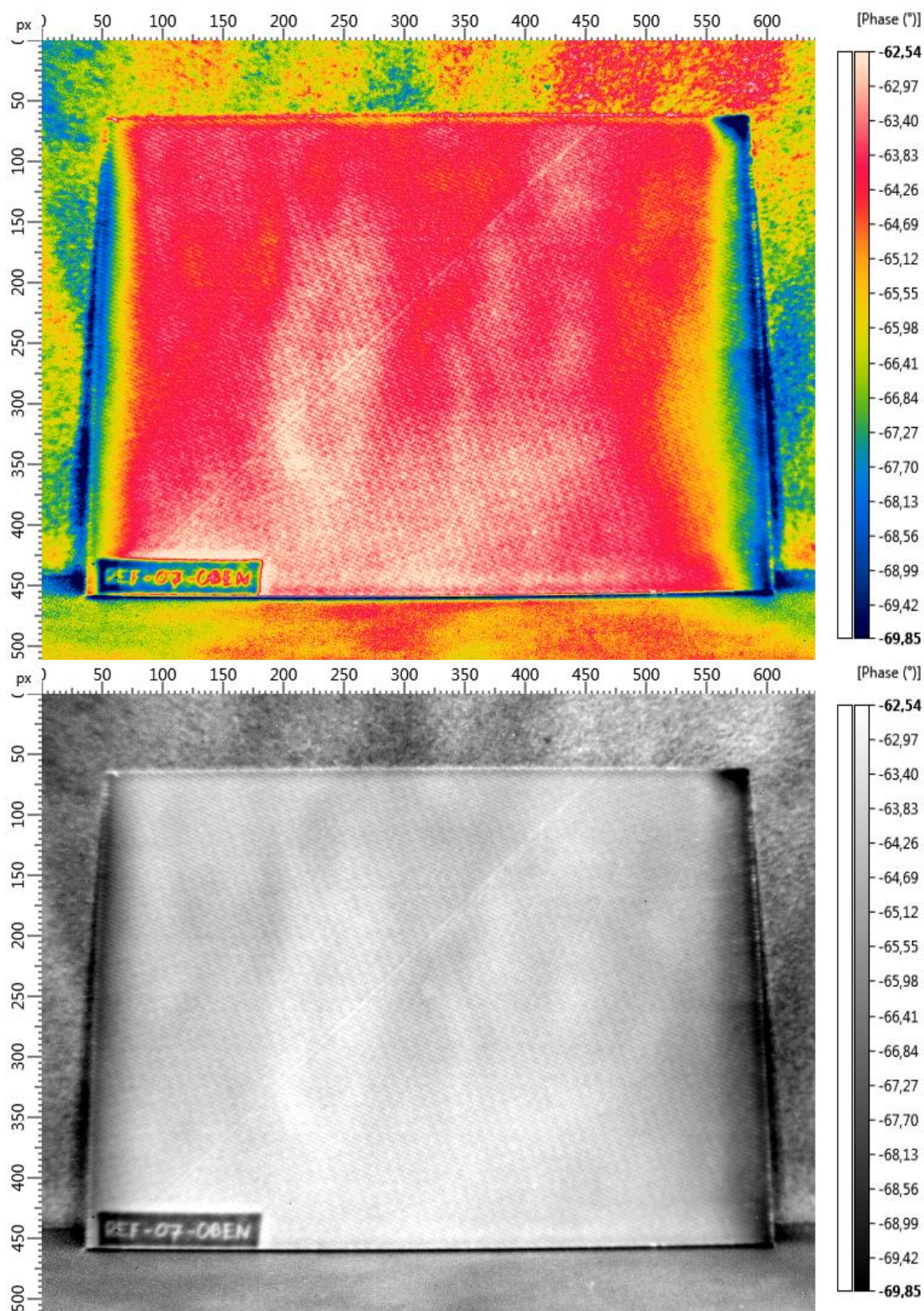
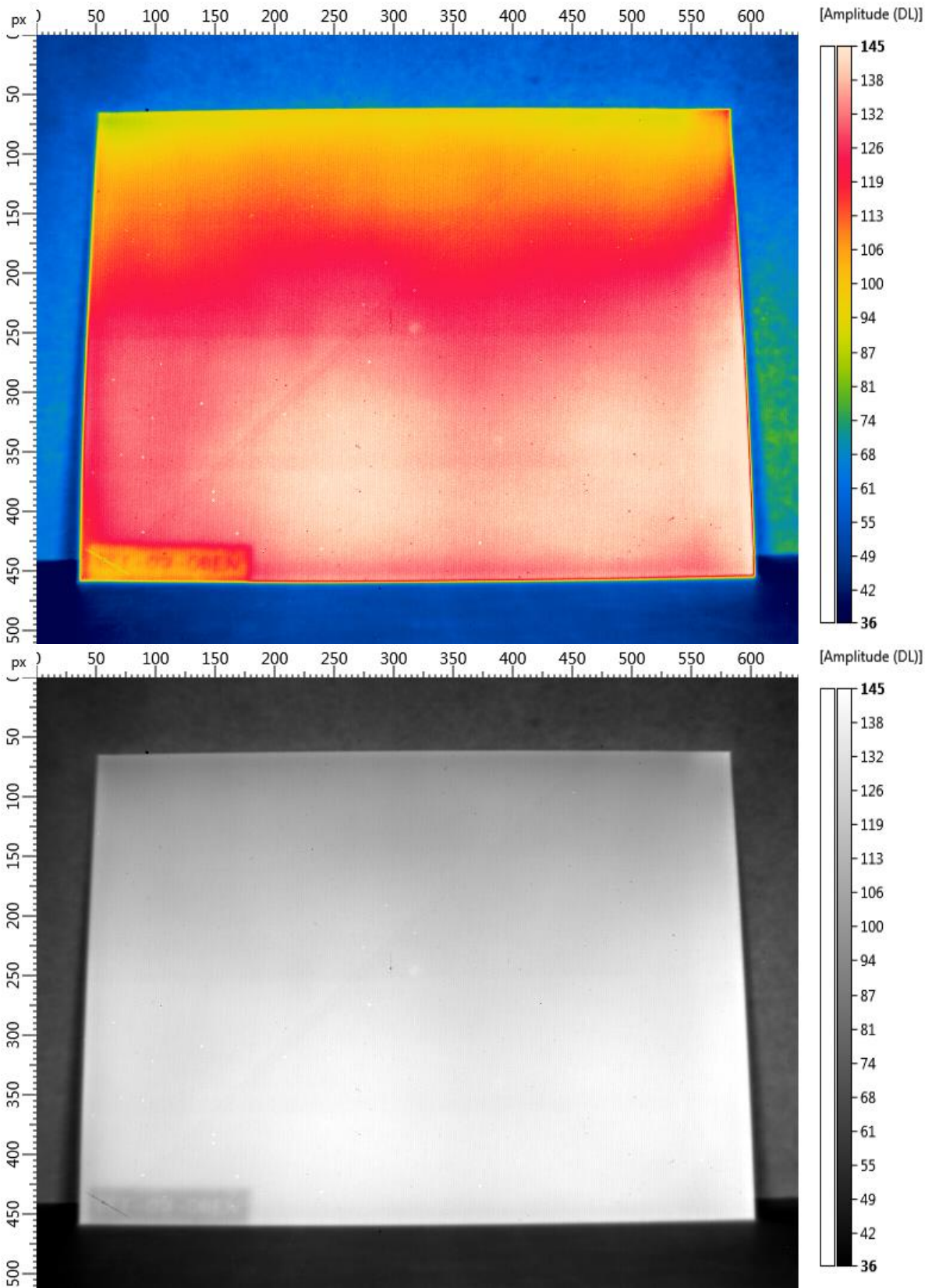


Abbildung 76: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

4.8.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





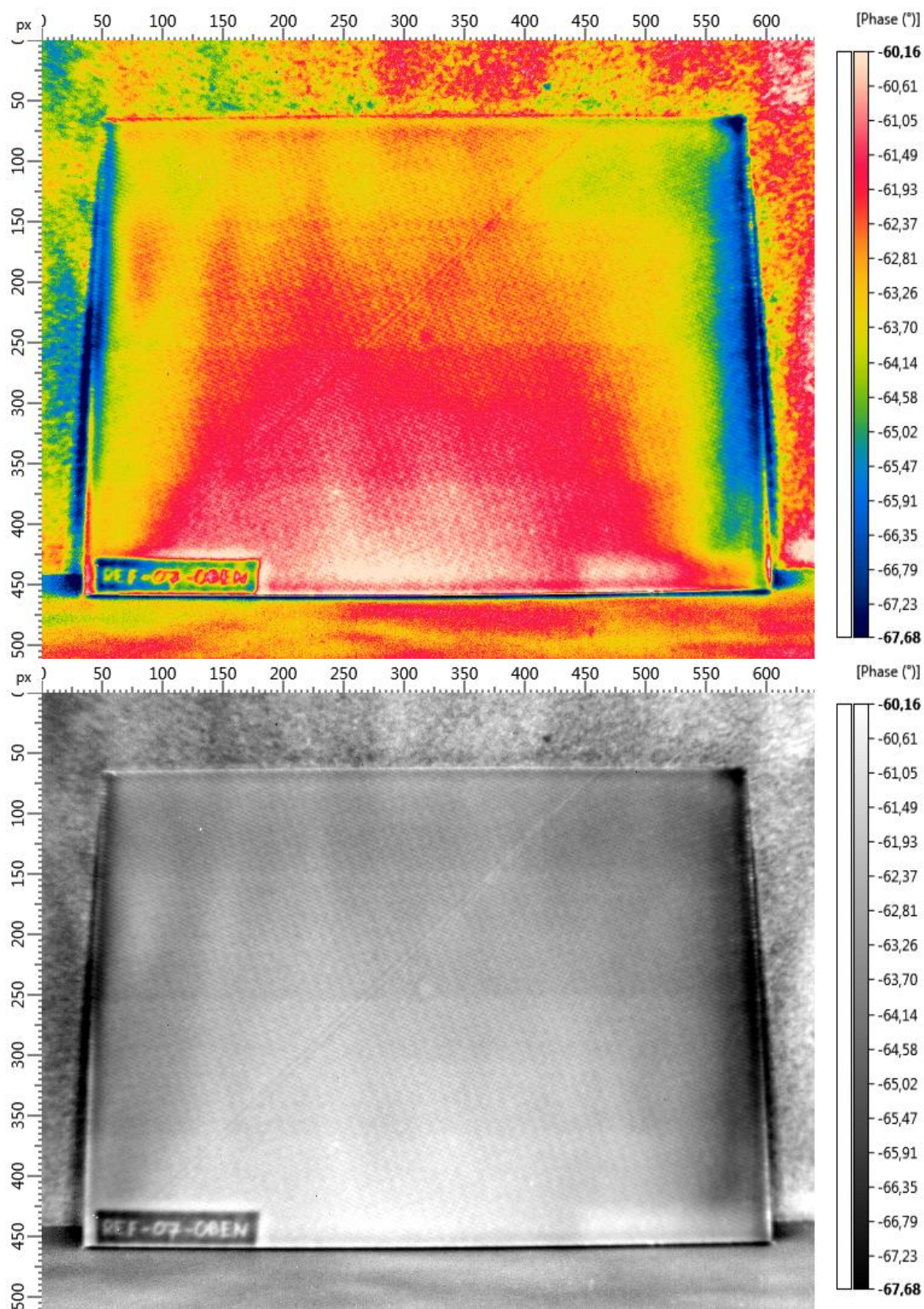
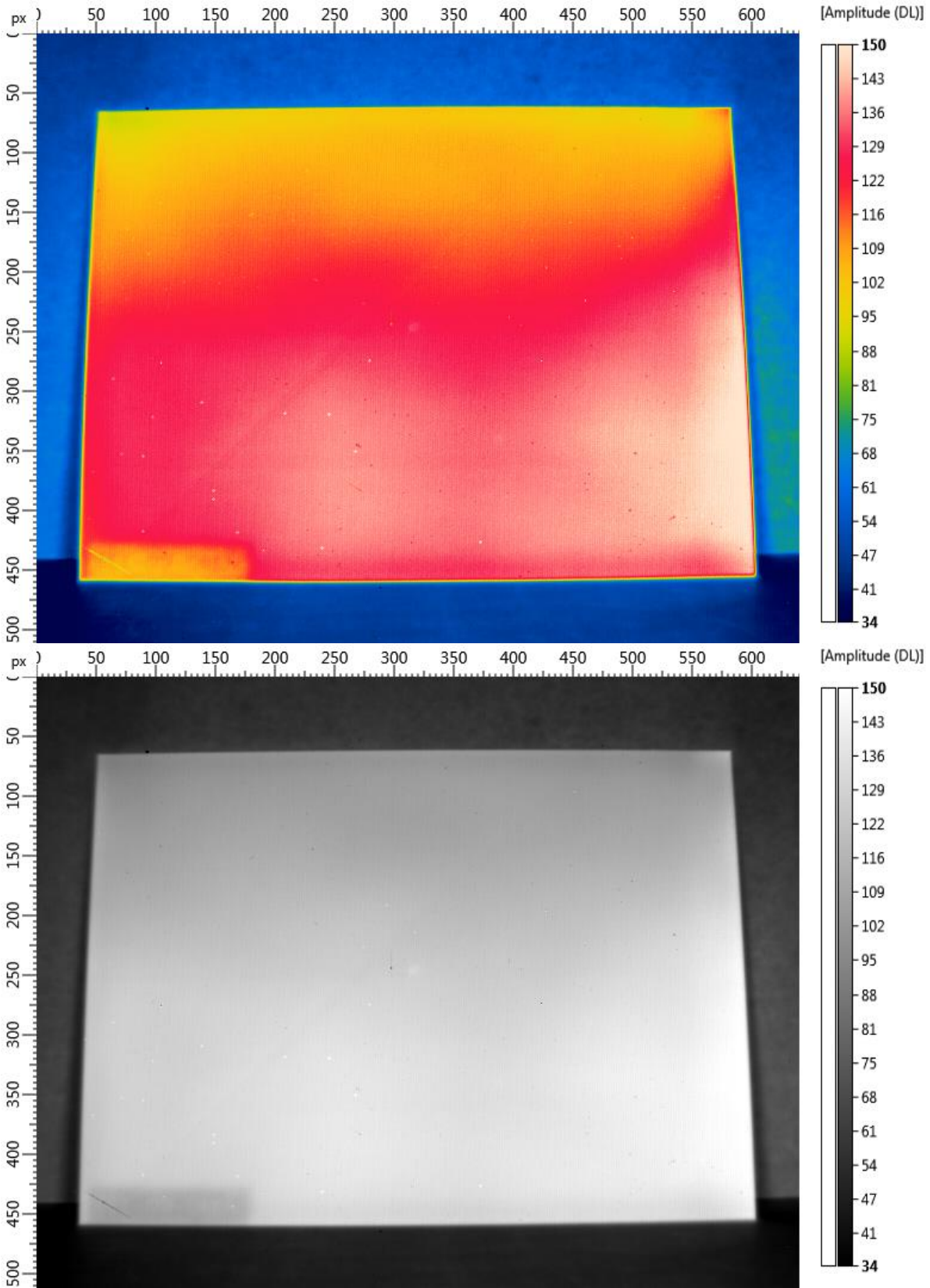


Abbildung 77: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

**4.8.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm**





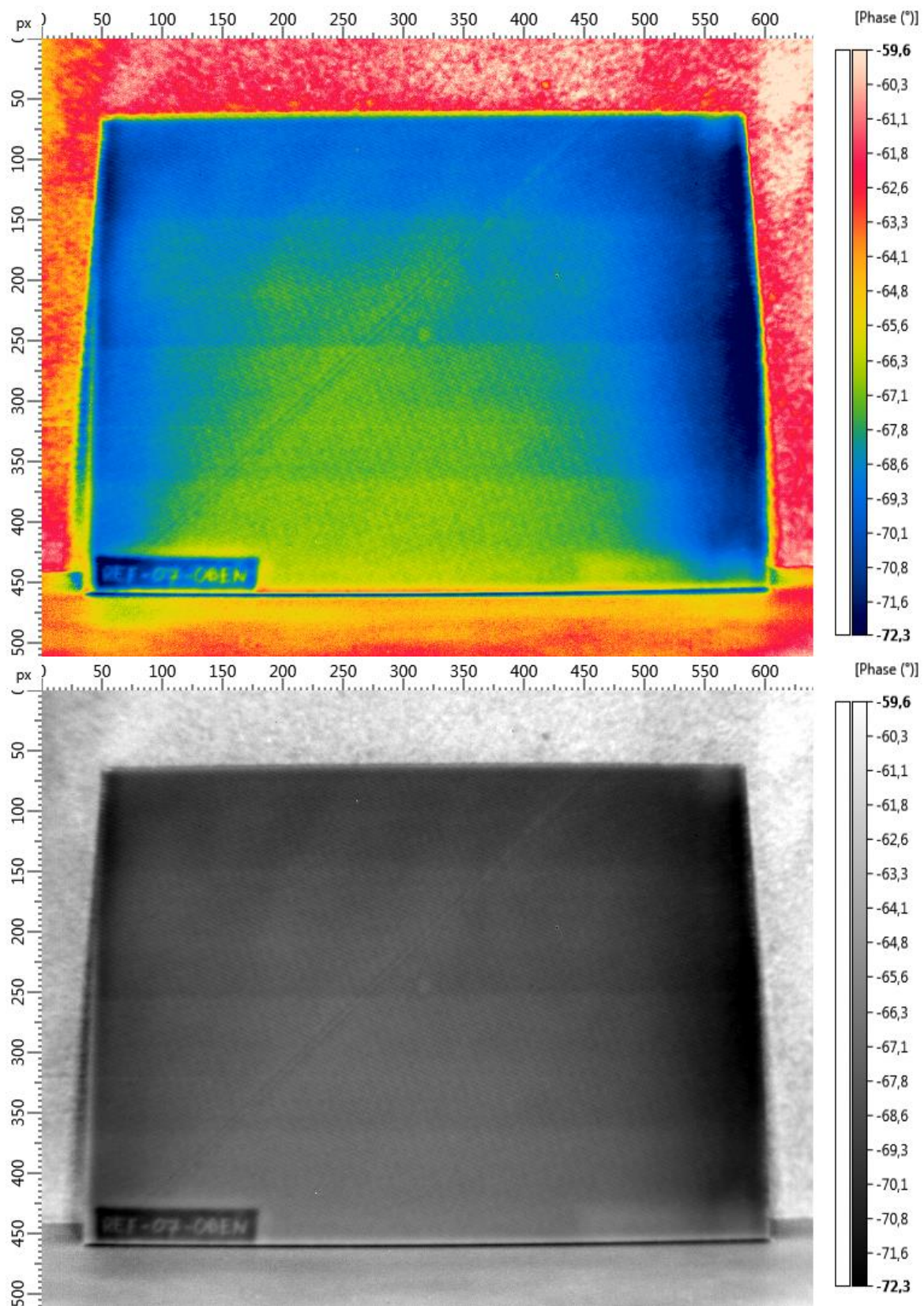
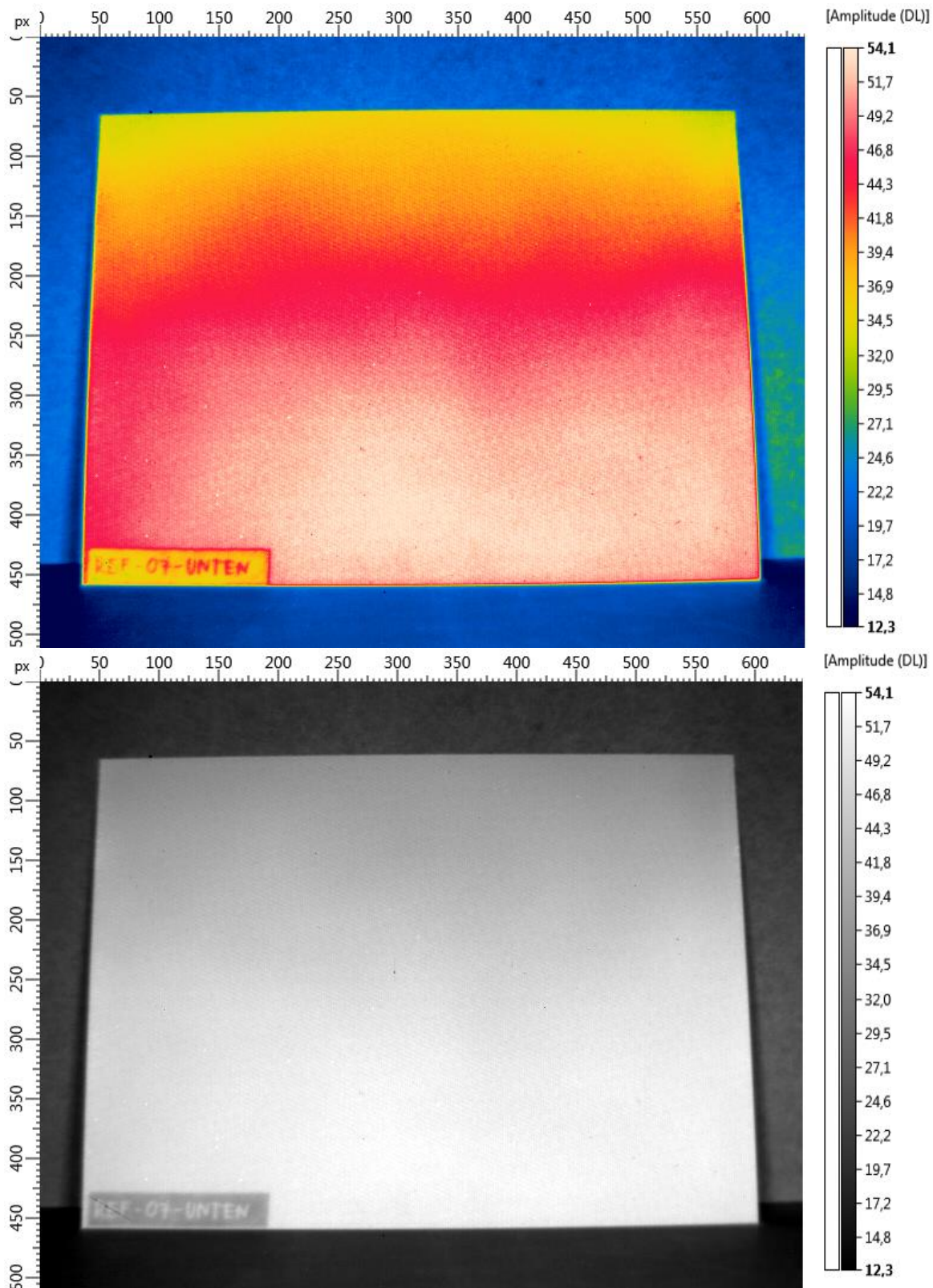


Abbildung 78: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.8.2. Messungen von UNTEN

### 4.8.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





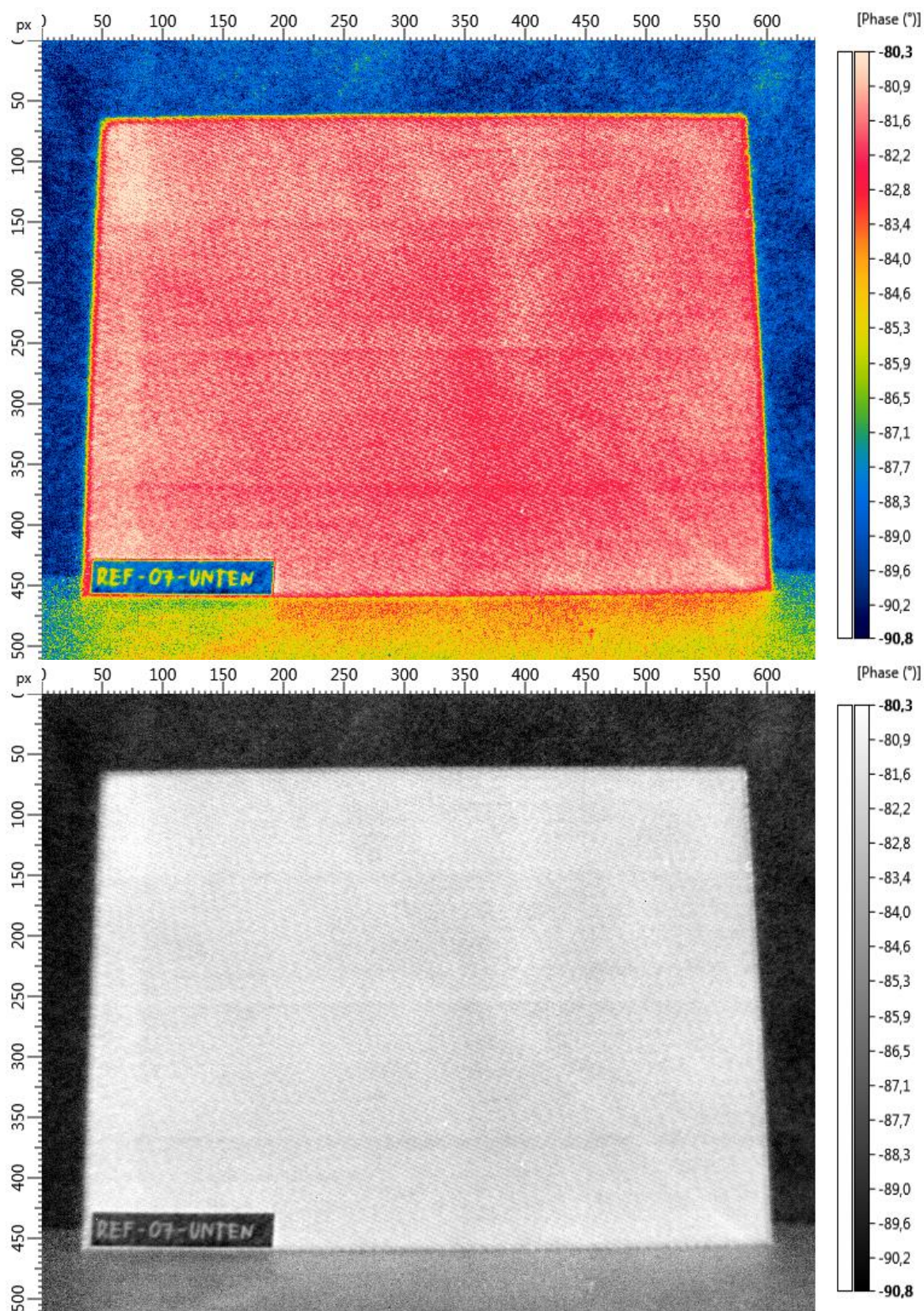
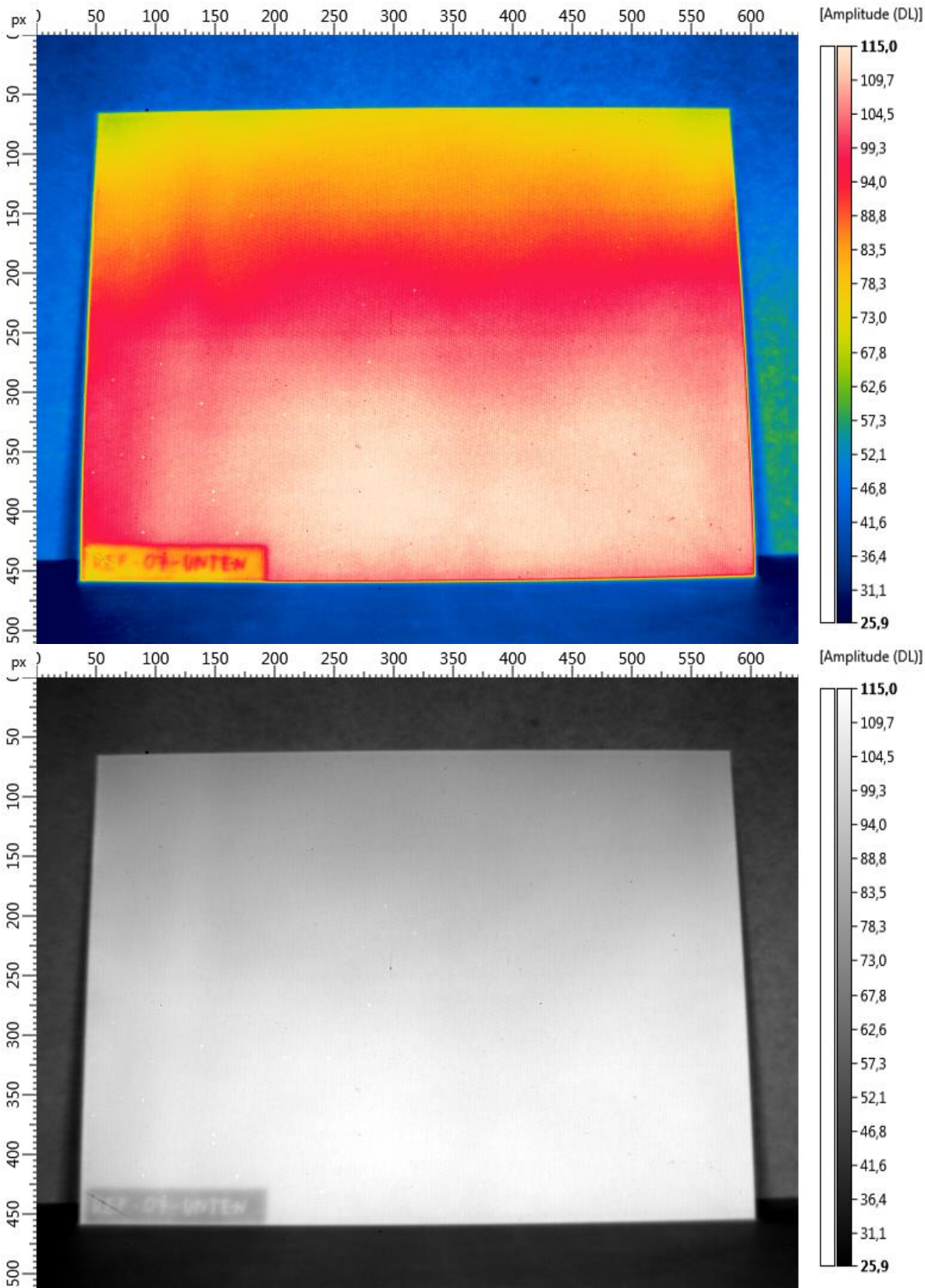


Abbildung 79: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.8.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





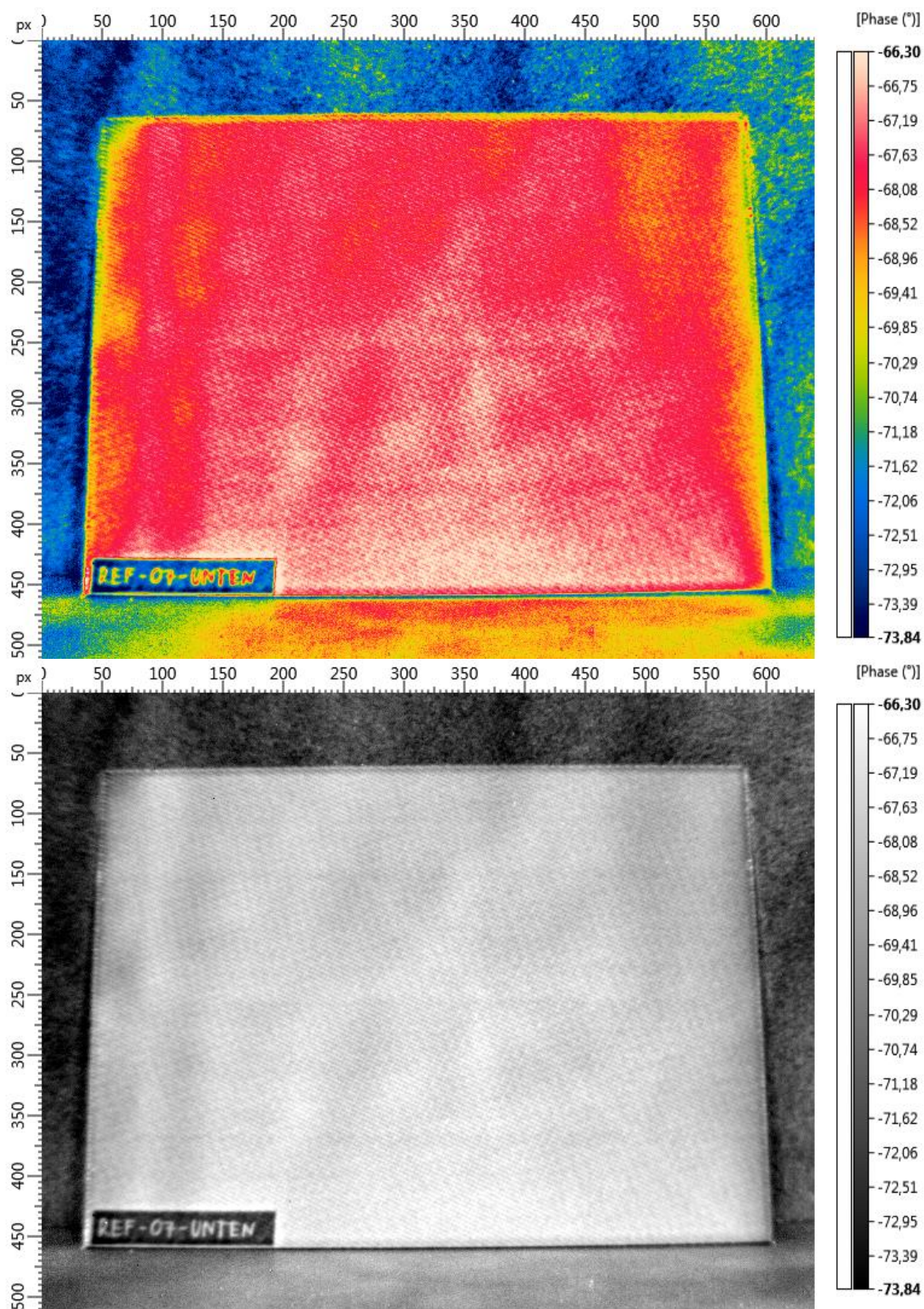
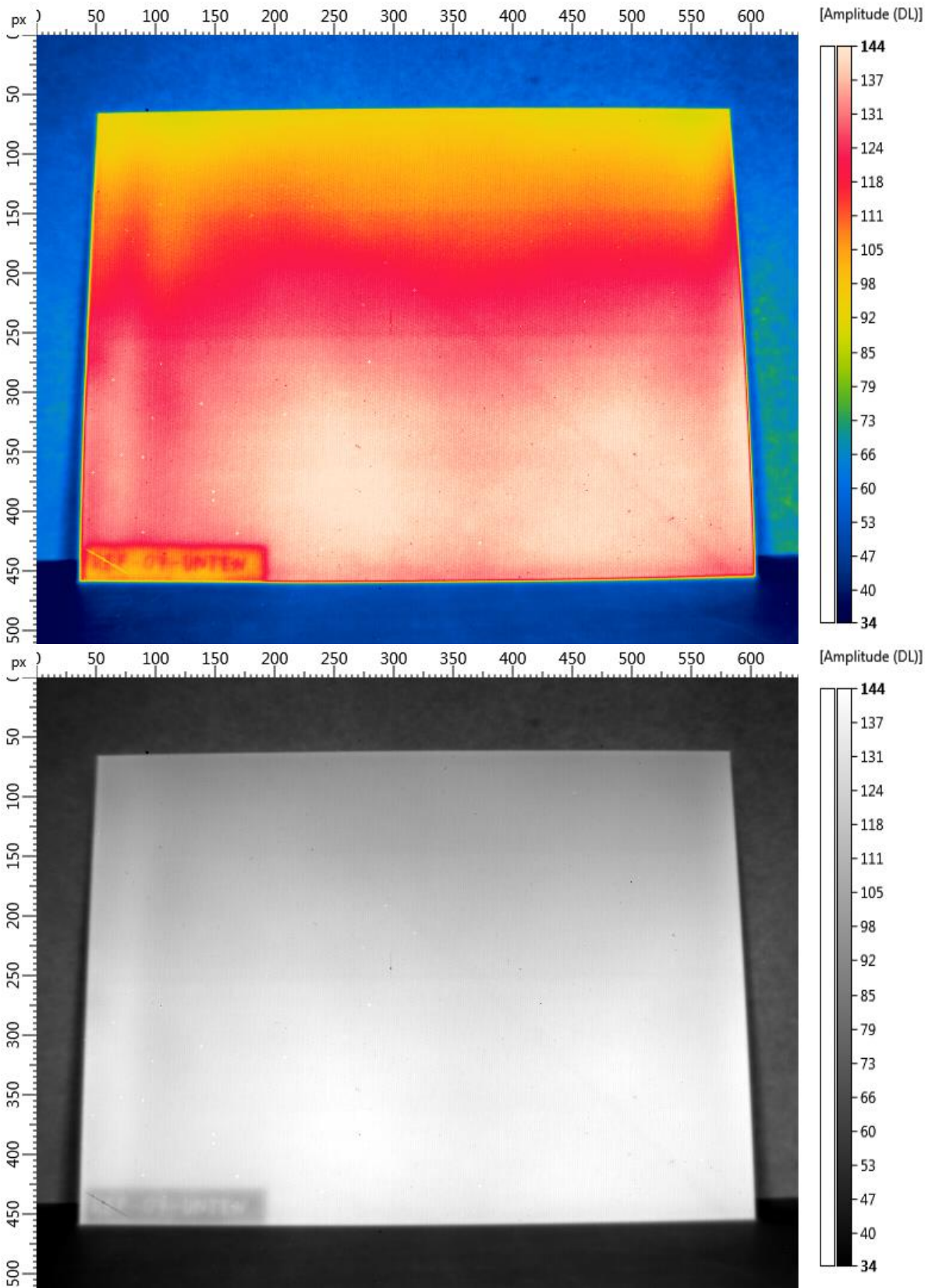


Abbildung 80: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala

**4.8.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm**





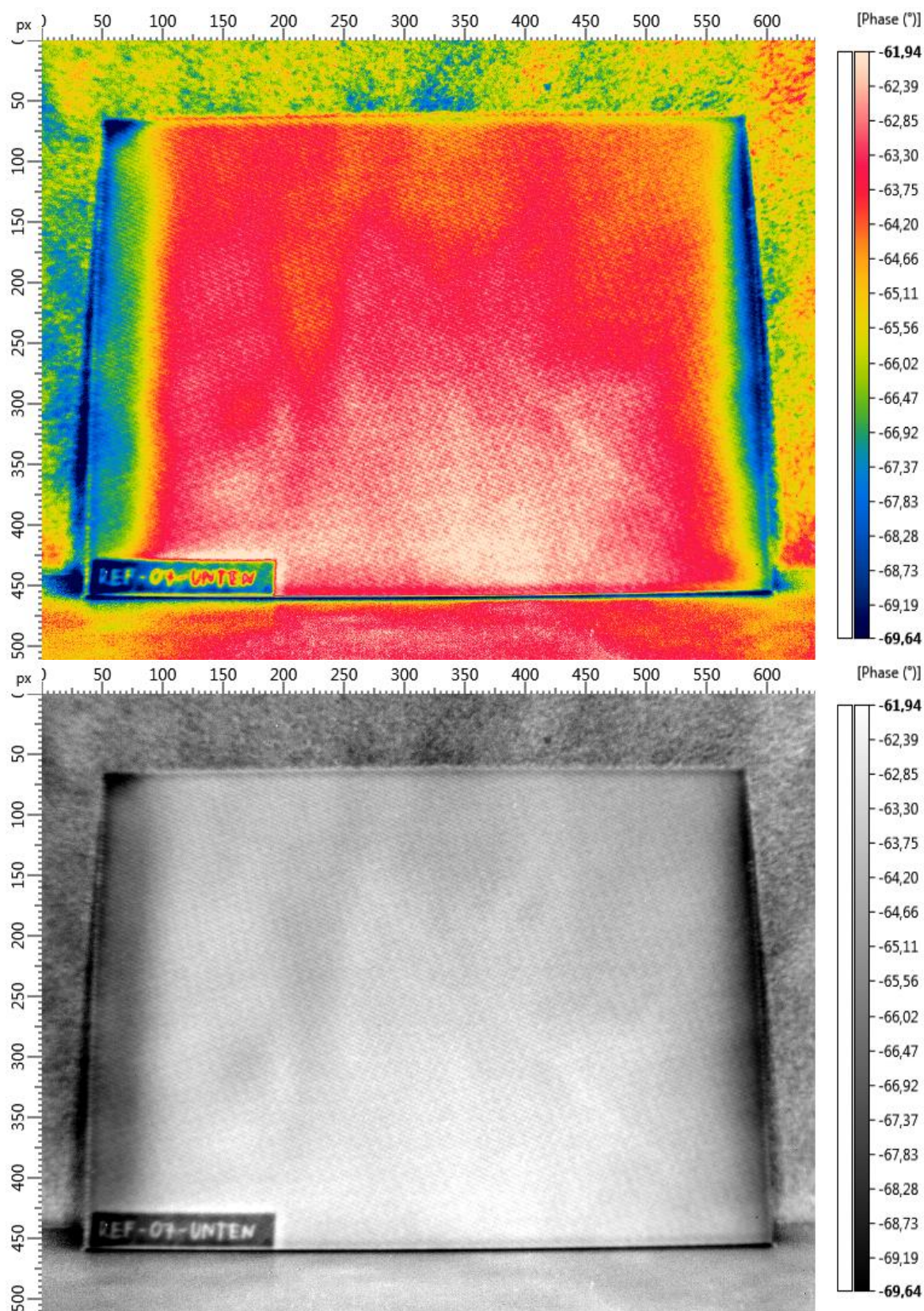
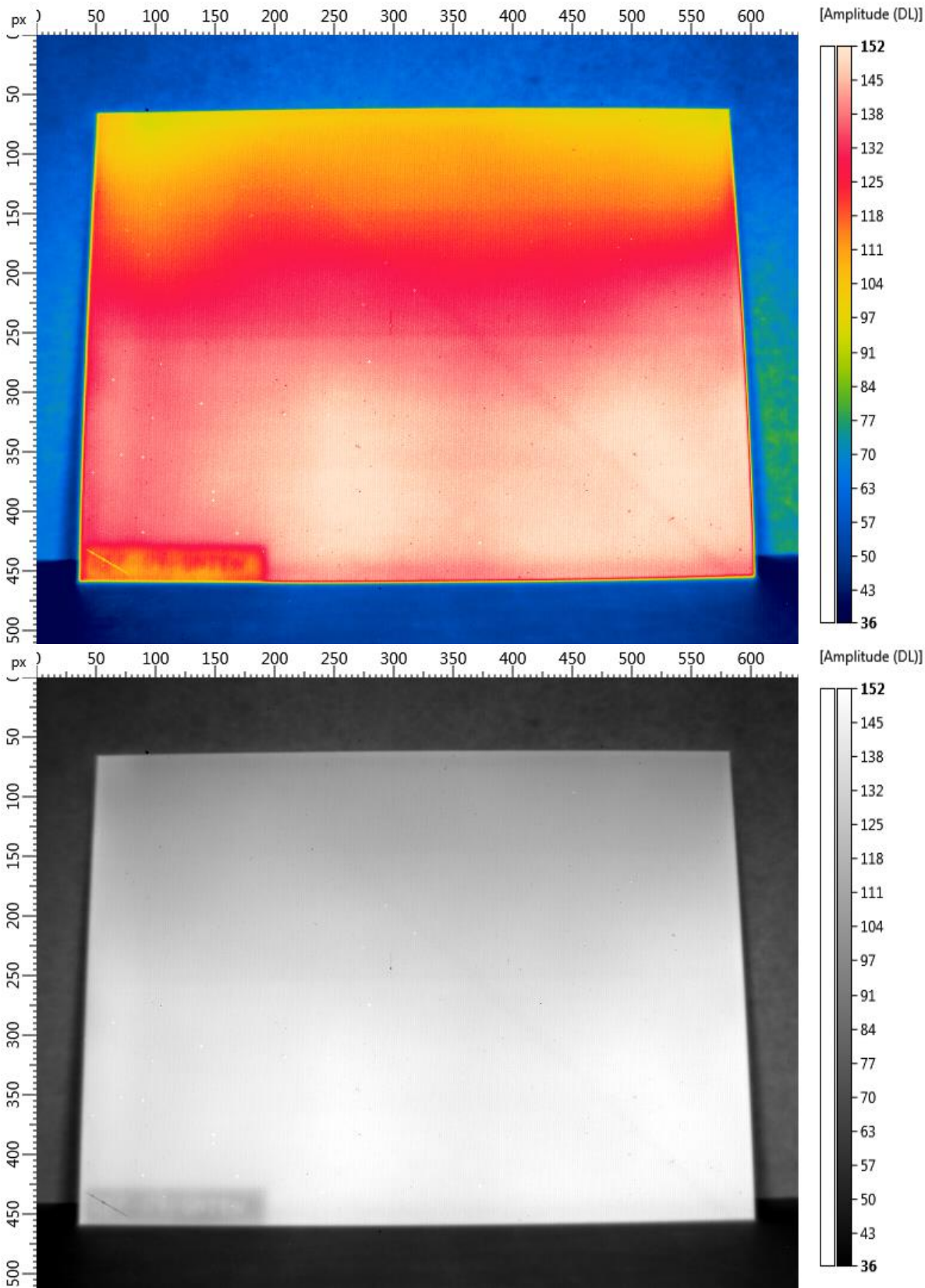


Abbildung 81: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

**4.8.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm**





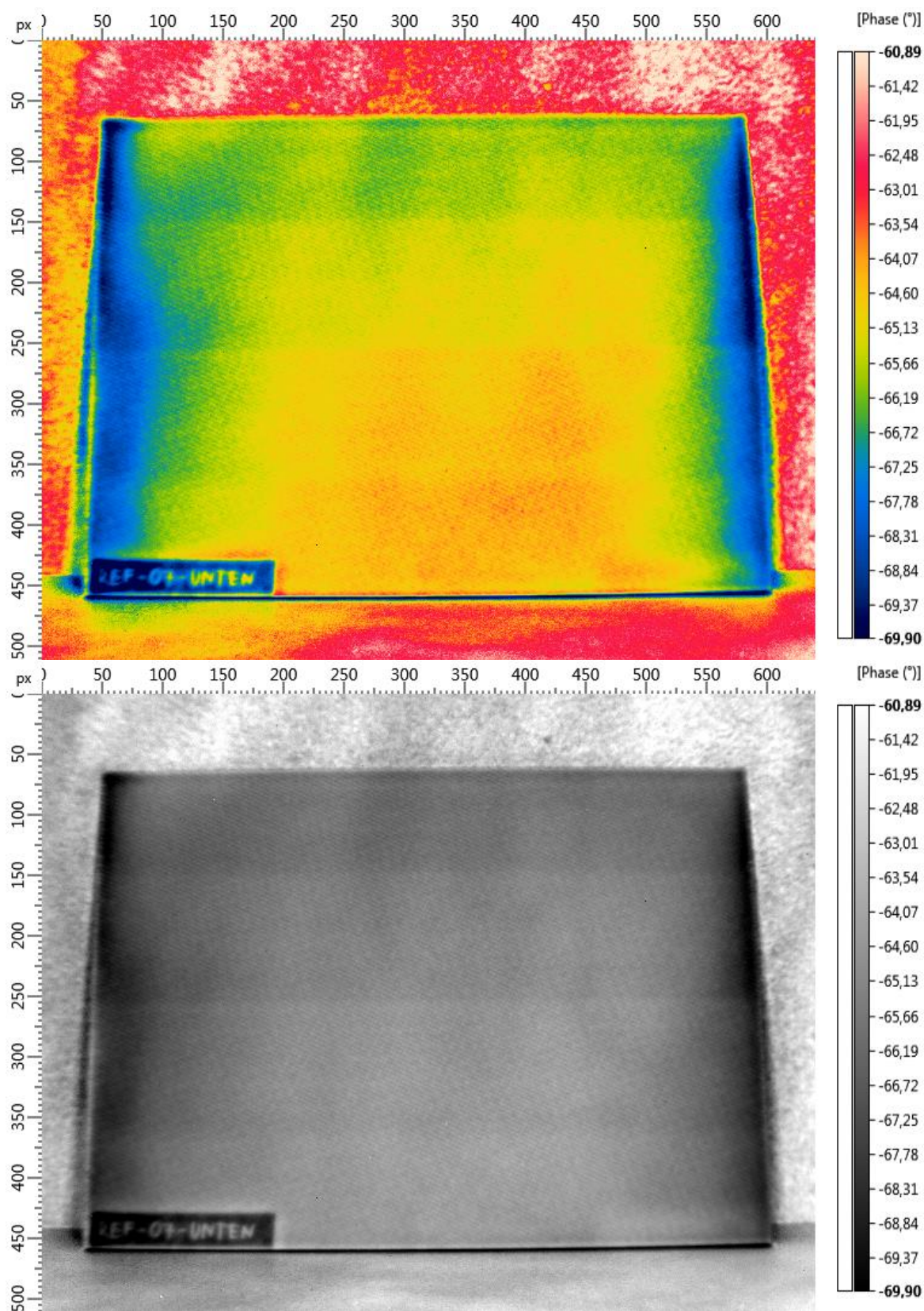
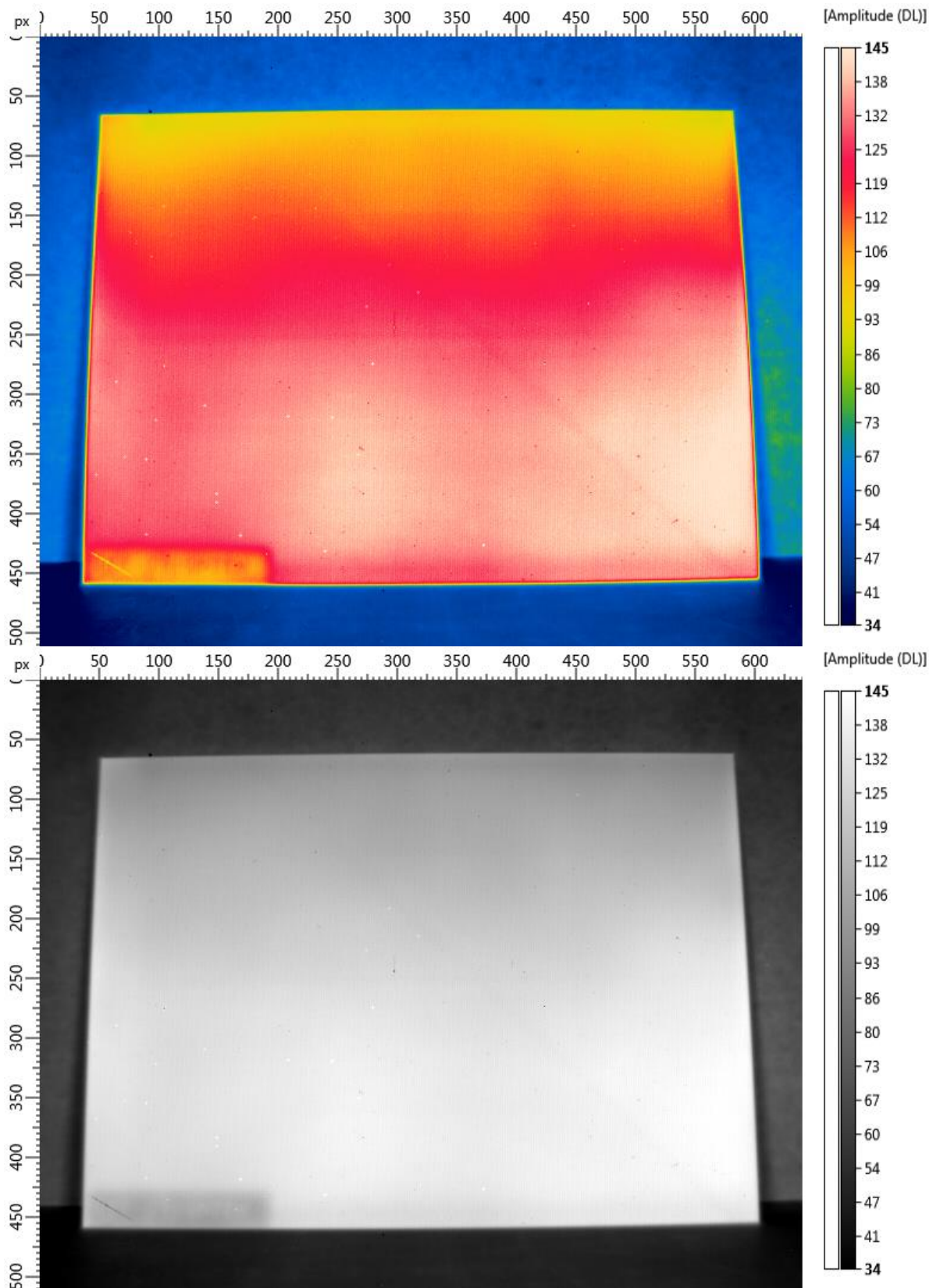


Abbildung 82: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,03\text{Hz} = 2,06\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

#### 4.8.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





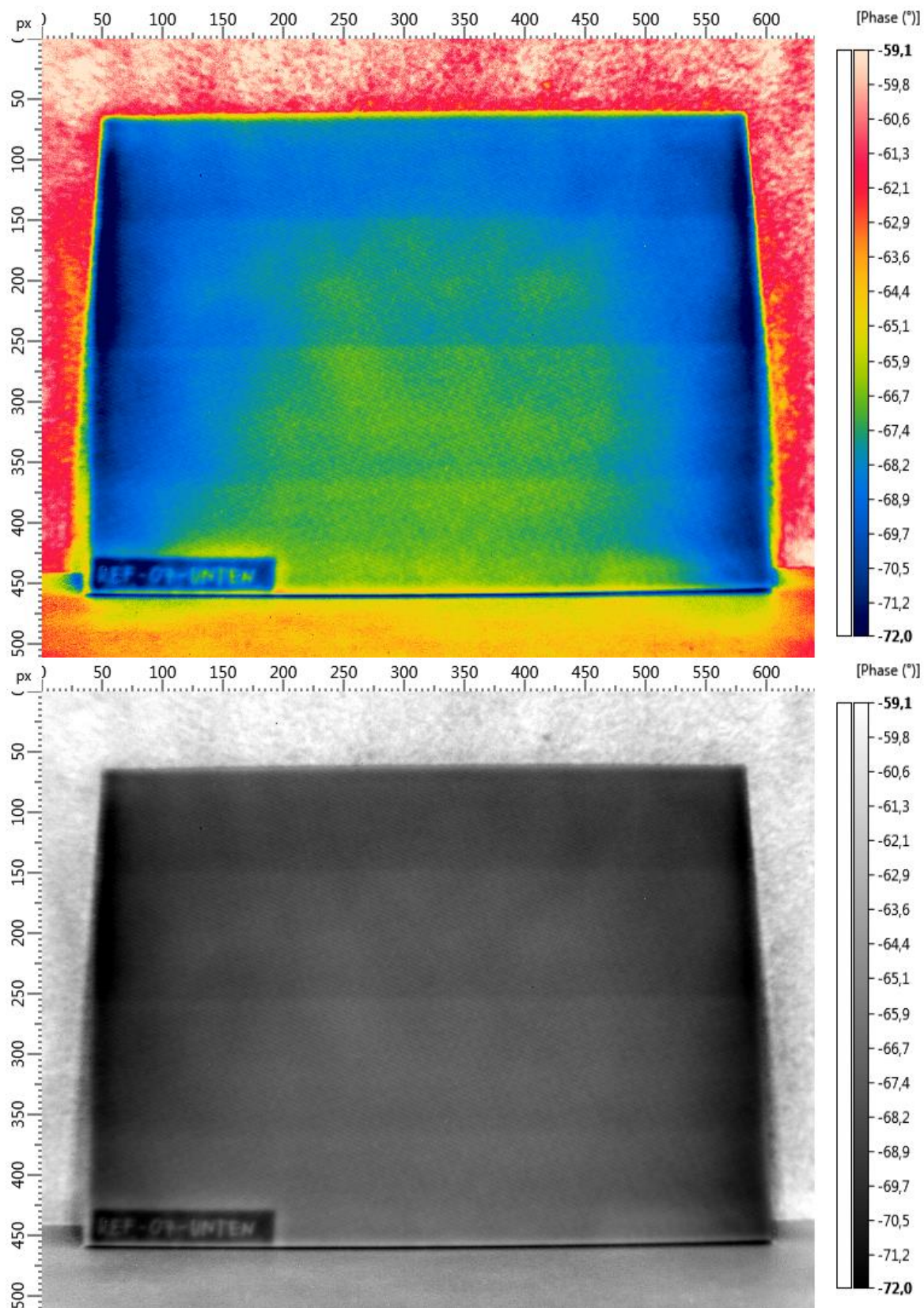


Abbildung 83: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.8.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN ist zusätzlich auf der rechten Seite ein ca. 46 Pixel breiter Streifen zu erkennen, was umgerechnet ca. 40 mm breite ergeben. Von UNTEN ist der Streifen ebenso mit ca. 40 mm auf der linken Seite erkennbar. Ebenso ist OBEN und UNTEN zu erkennen das 3 horizontal verlaufende Linien vorhanden sind.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen. Der Streifen auf der Seite ist durch die Eingebachte Folie zu erklären. Bei höheren Frequenzen ist eine bessere Wärmeleitung durch die niedrigere Phasenverschiebung zu erkennen wobei bei niedriger Frequenz eine schlechte Wärmeleitung zu erkennen ist. Die bessere Wärmeleitung in der Nähe der Oberfläche ist durch den höheren Kompaktierungsgrad zu erklären wobei die Wärmeleitung in den tieferen Frequenzen nachlässt durch die zusätzlich eingebrachte Matrix. Bei der Messung mit 0,05 Hz bei ca. 1,60 mm Eindringtiefe zeigt sich dieser Streifen am deutlichsten was darauf schließen lässt das die Folie in die Mitte der Platte integriert wurde. Dieser Streifen stellt durch die absichtlich eingebrachte Folie keinen Fehler dar.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



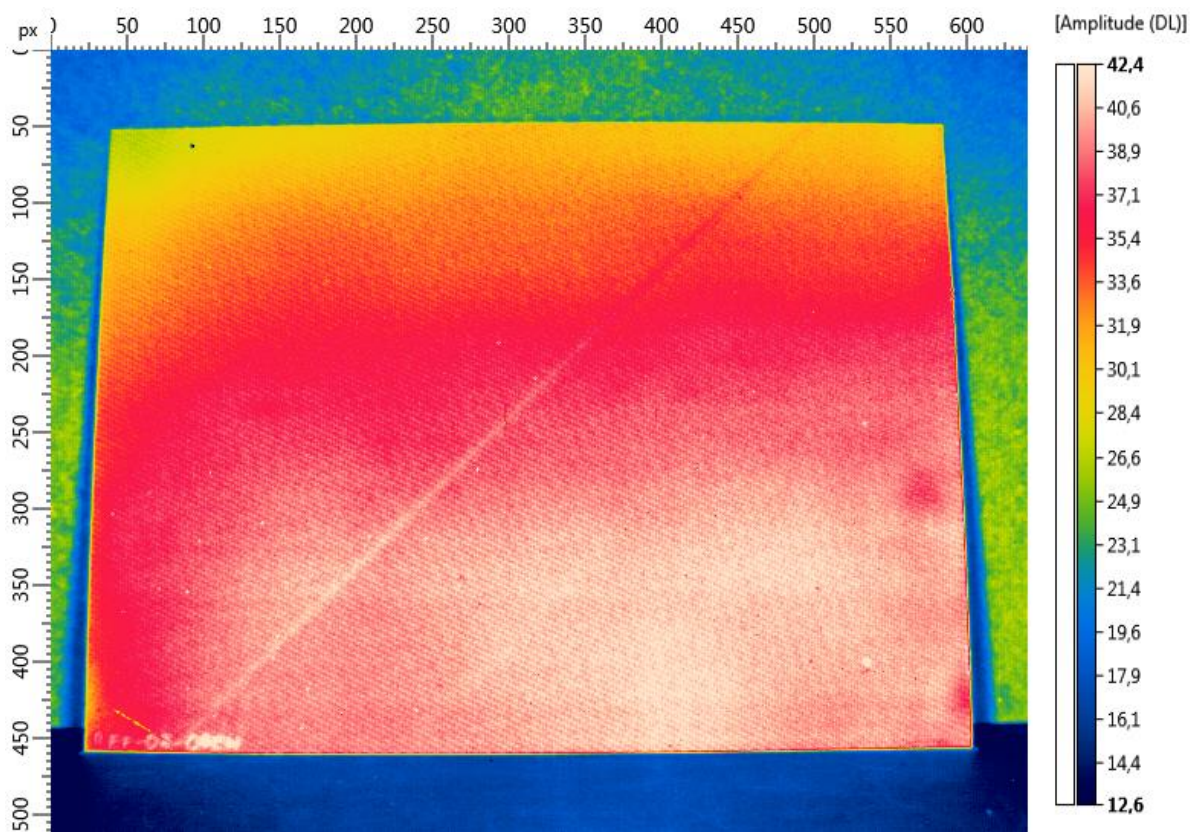
## 4.9. REF-08

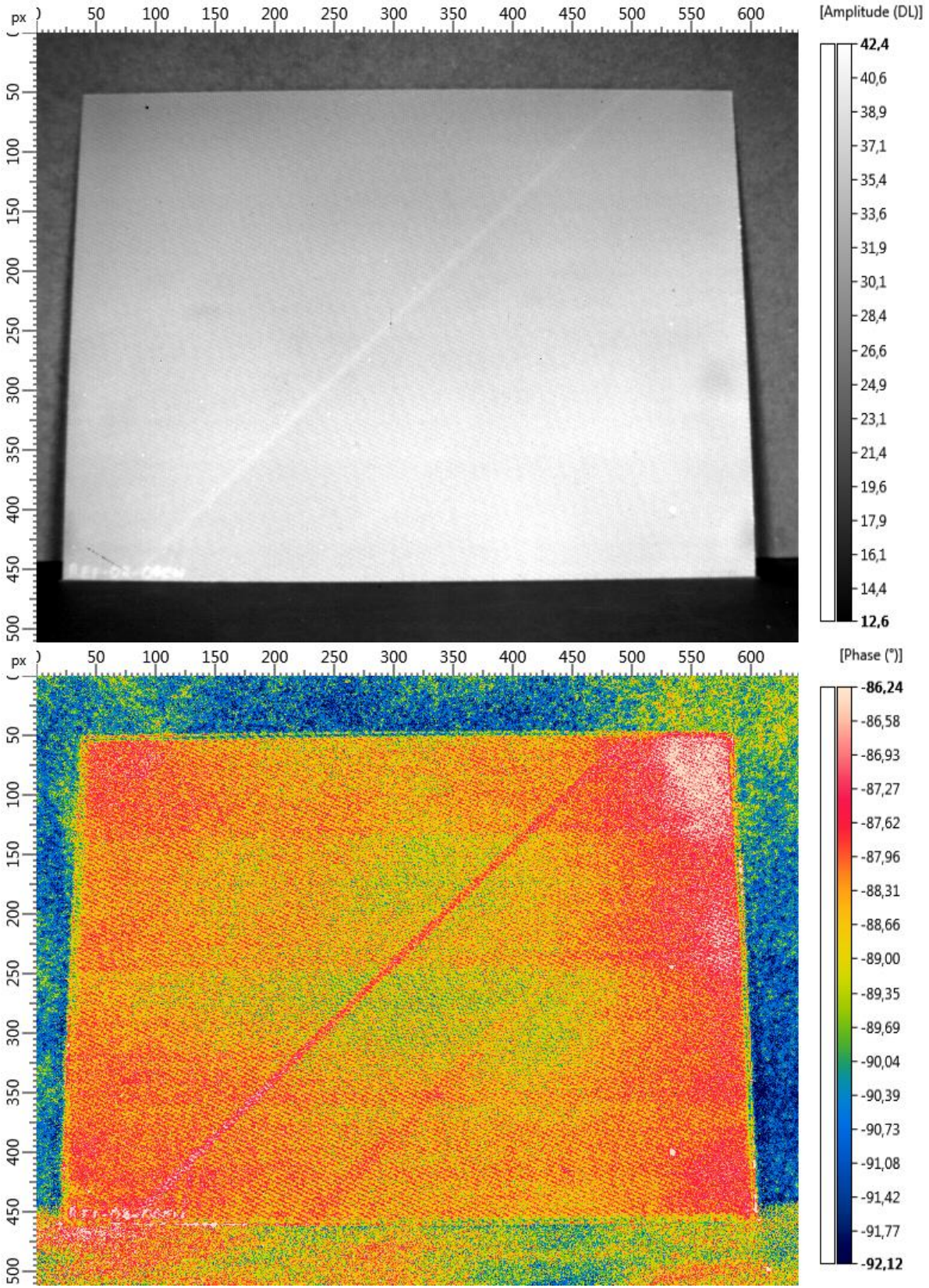
Tabelle 9: Dickenmessung REF-08

3,8 mm	3,6 mm
3,7 mm	3,7 mm

### 4.9.1. Messung von OBEN

#### 4.9.1.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm







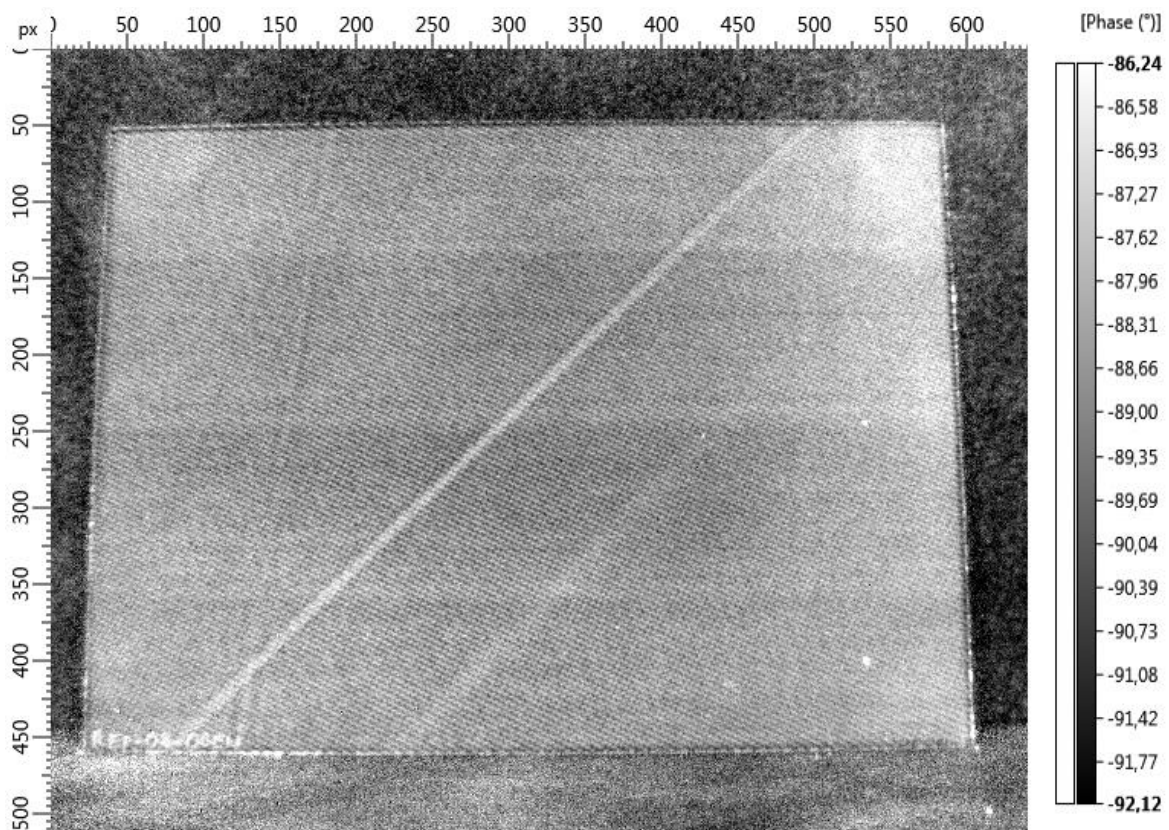
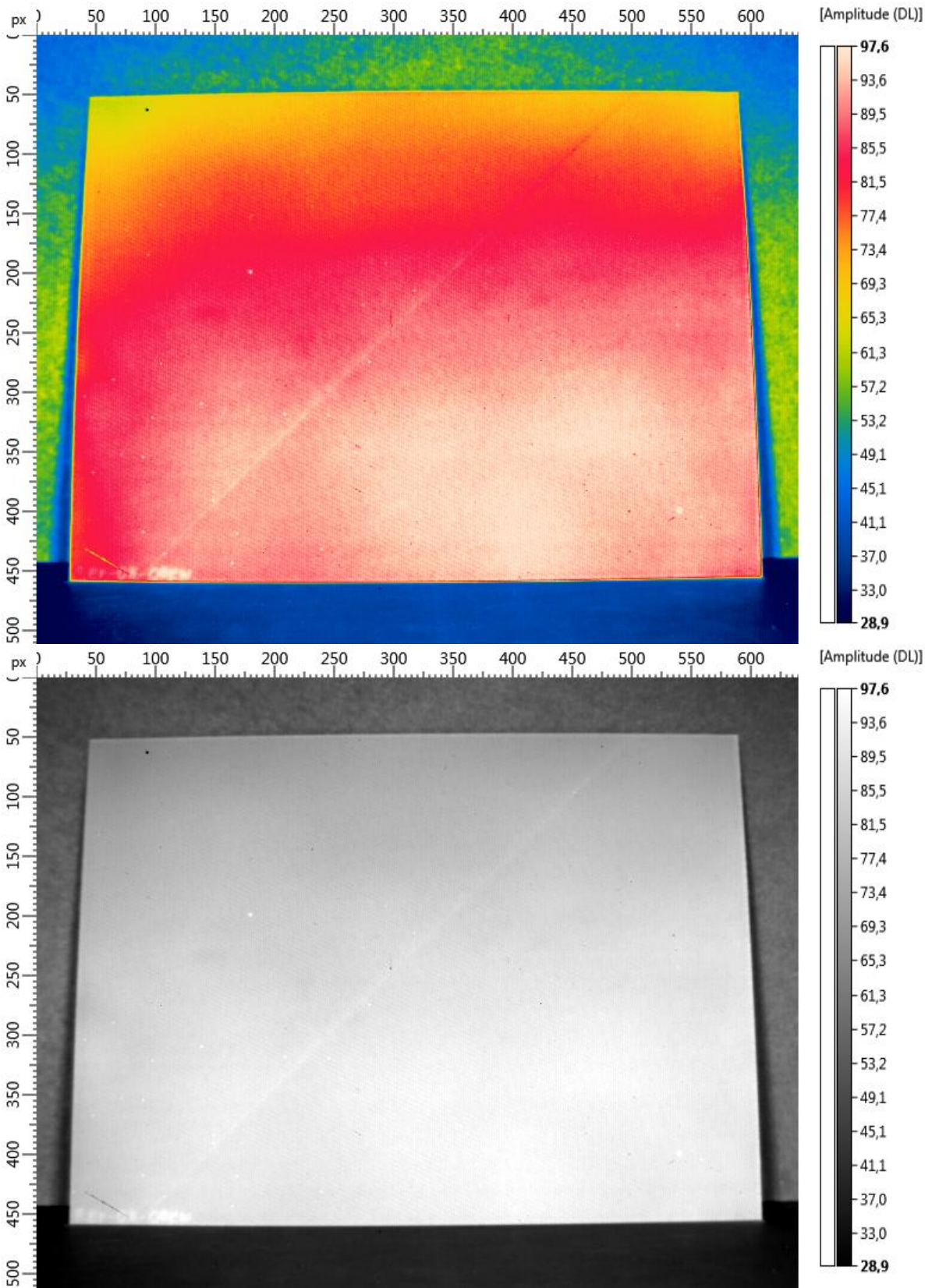


Abbildung 84: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala

4.9.1.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





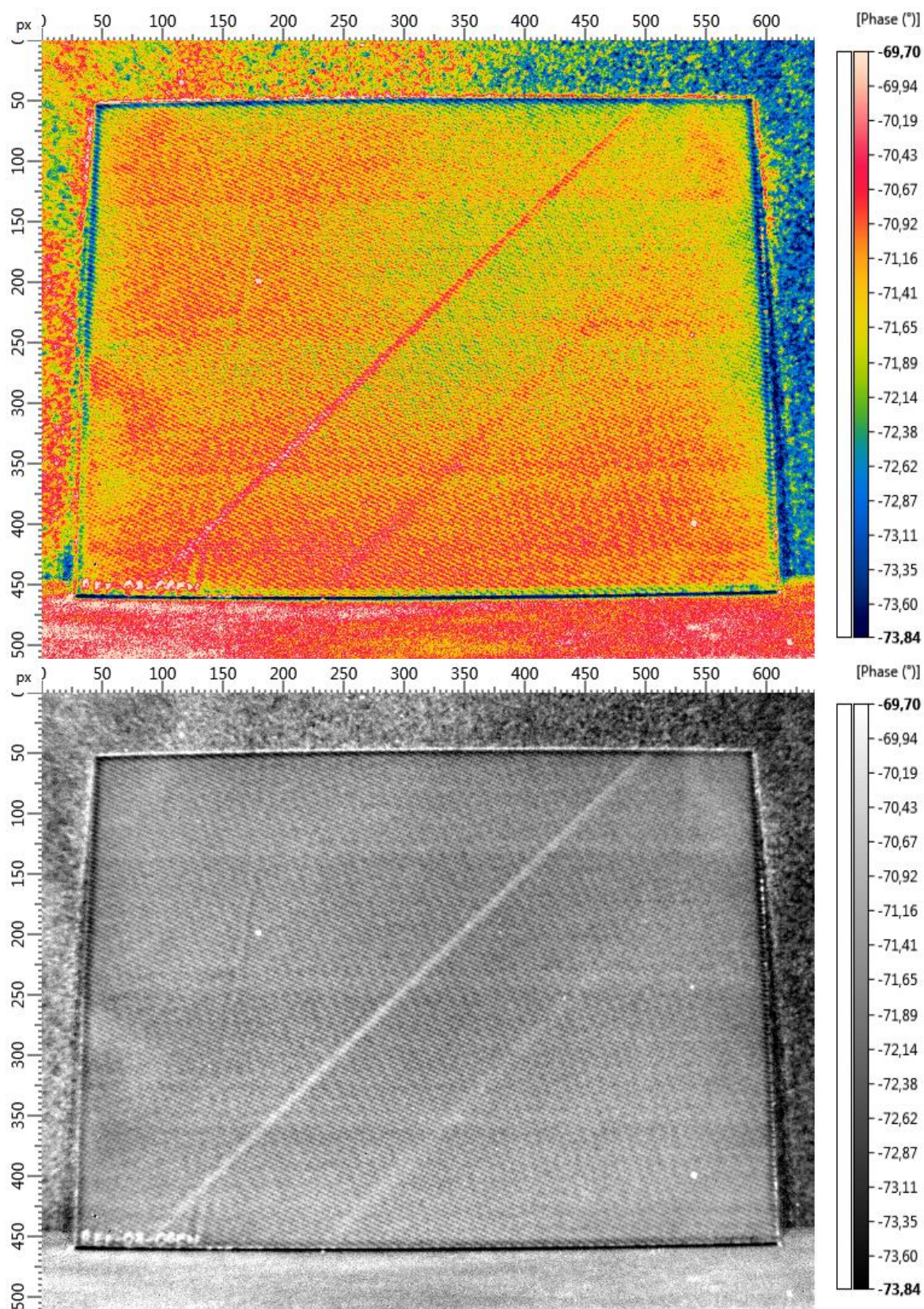
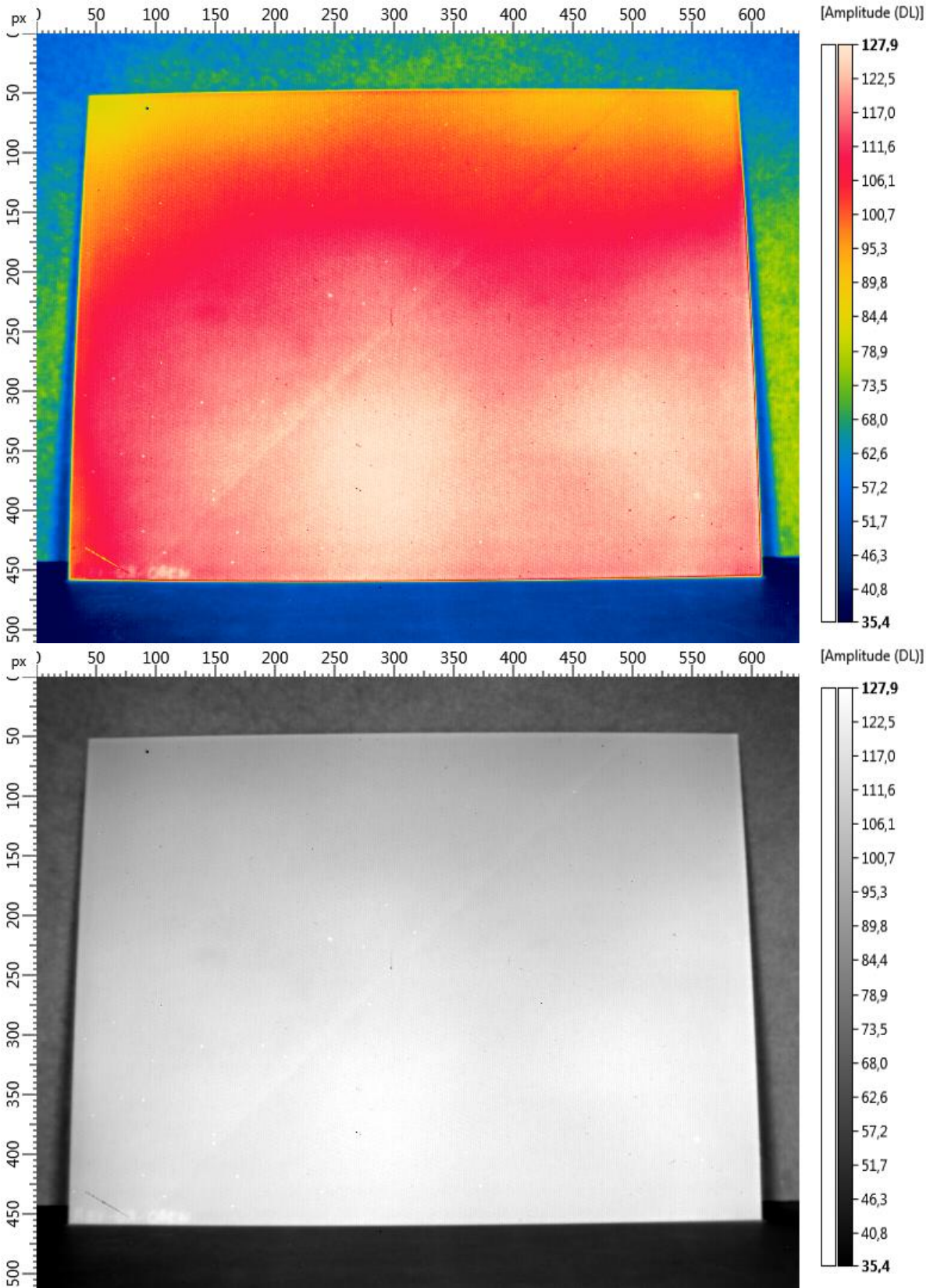


Abbildung 85: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,1\text{Hz} = 1,13\text{mm}$  in Rain und Grey Skala



**4.9.1.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm**





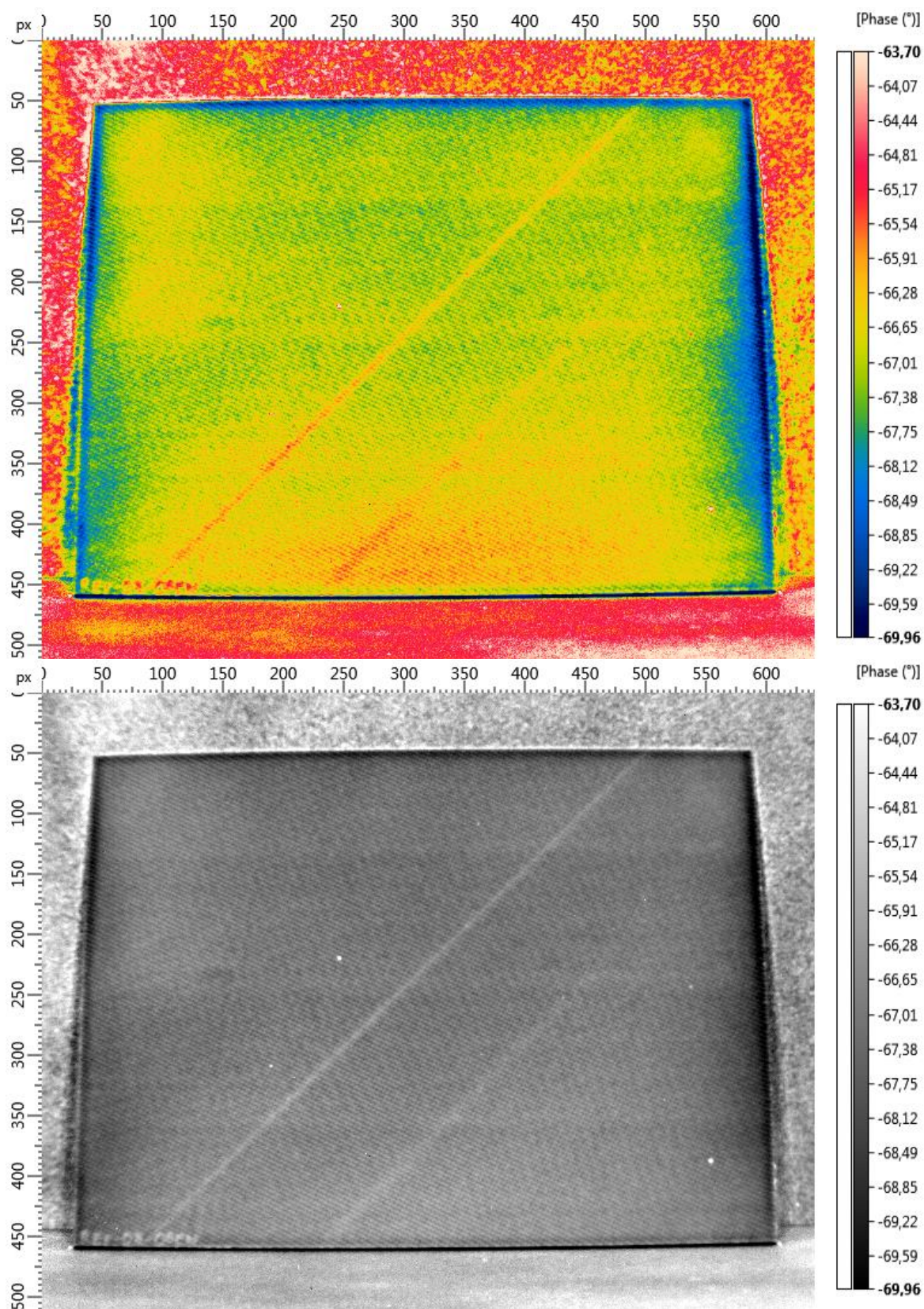
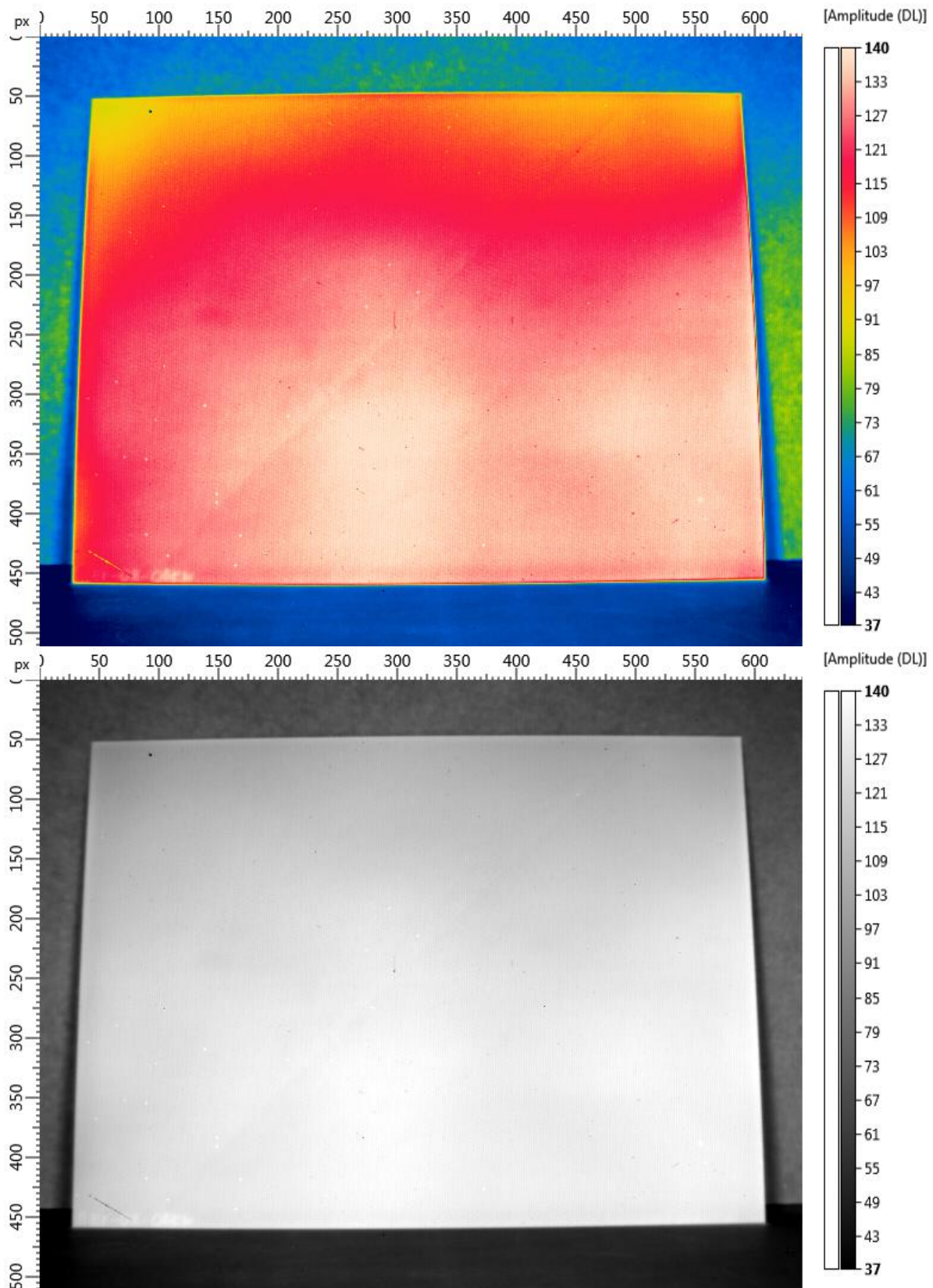


Abbildung 86: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.9.1.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





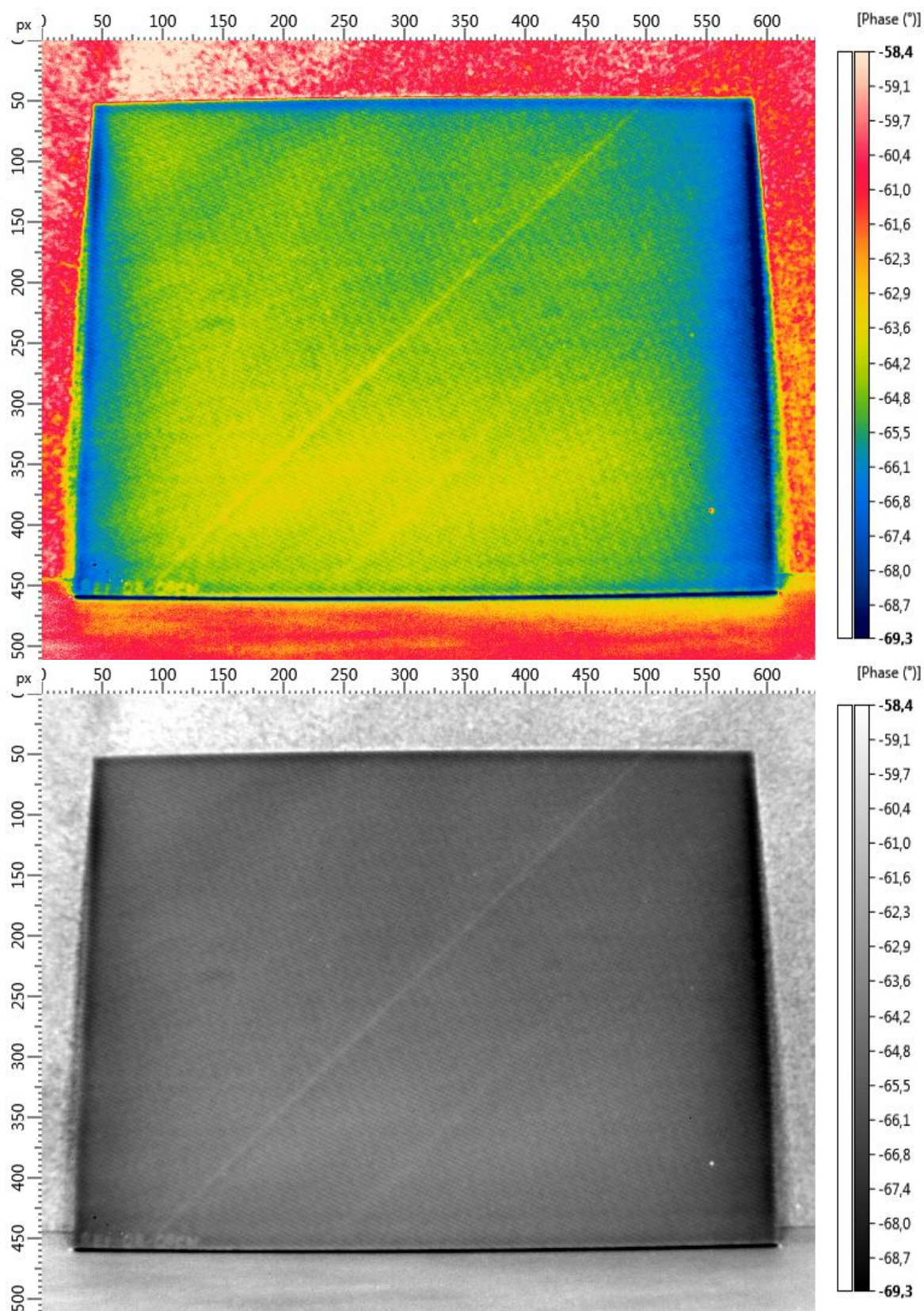
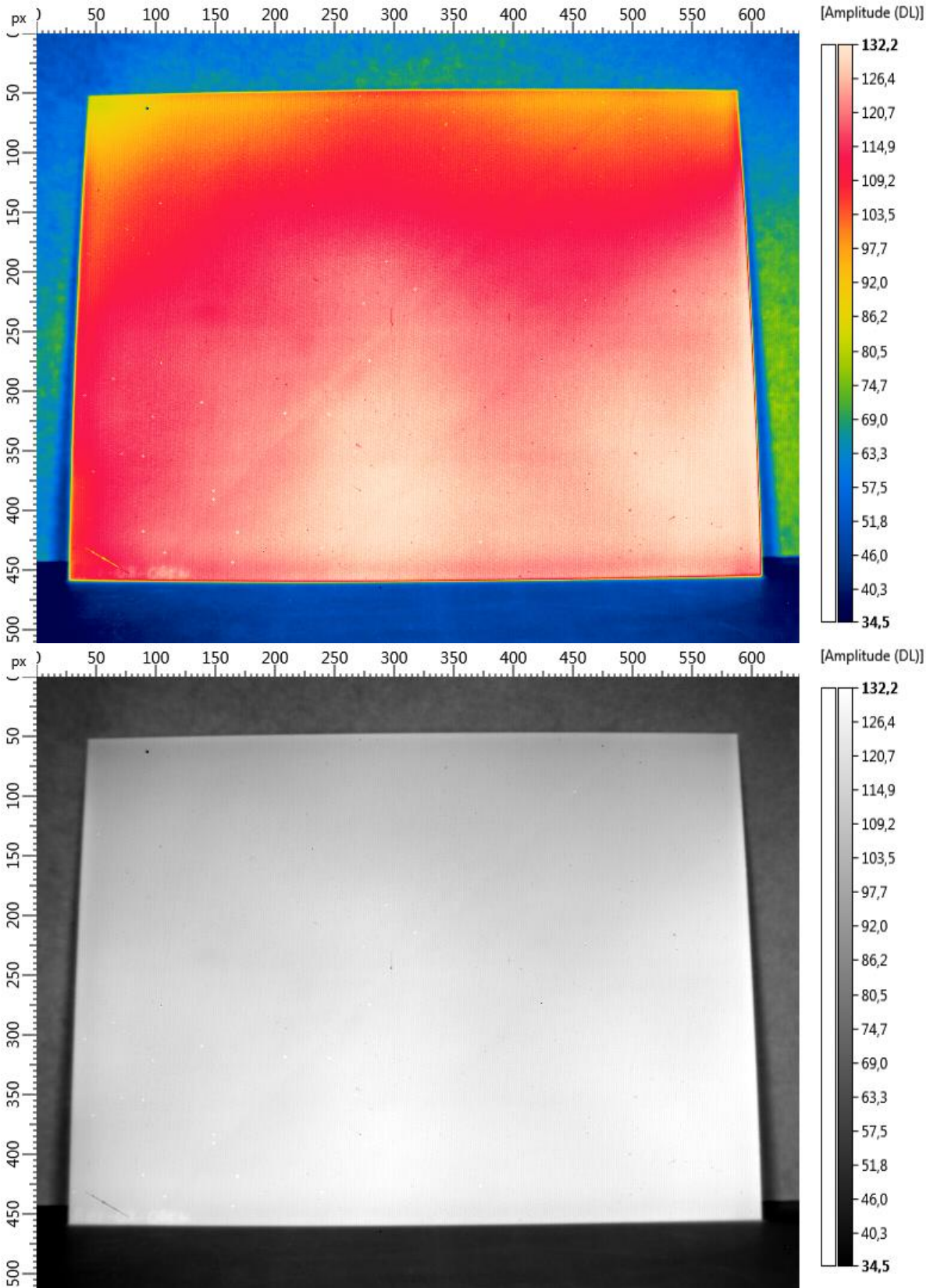


Abbildung 87: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala

**4.9.1.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm**





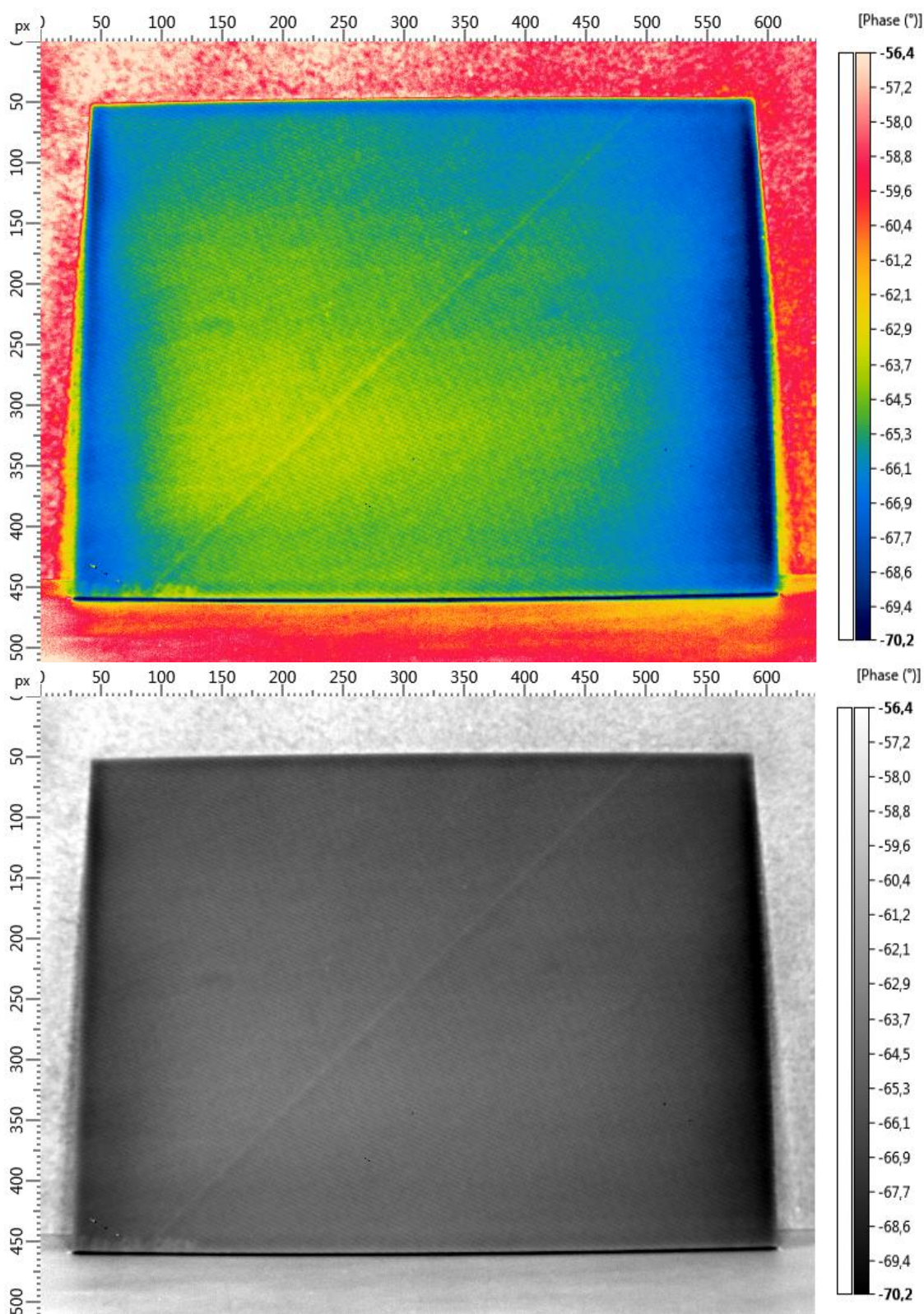
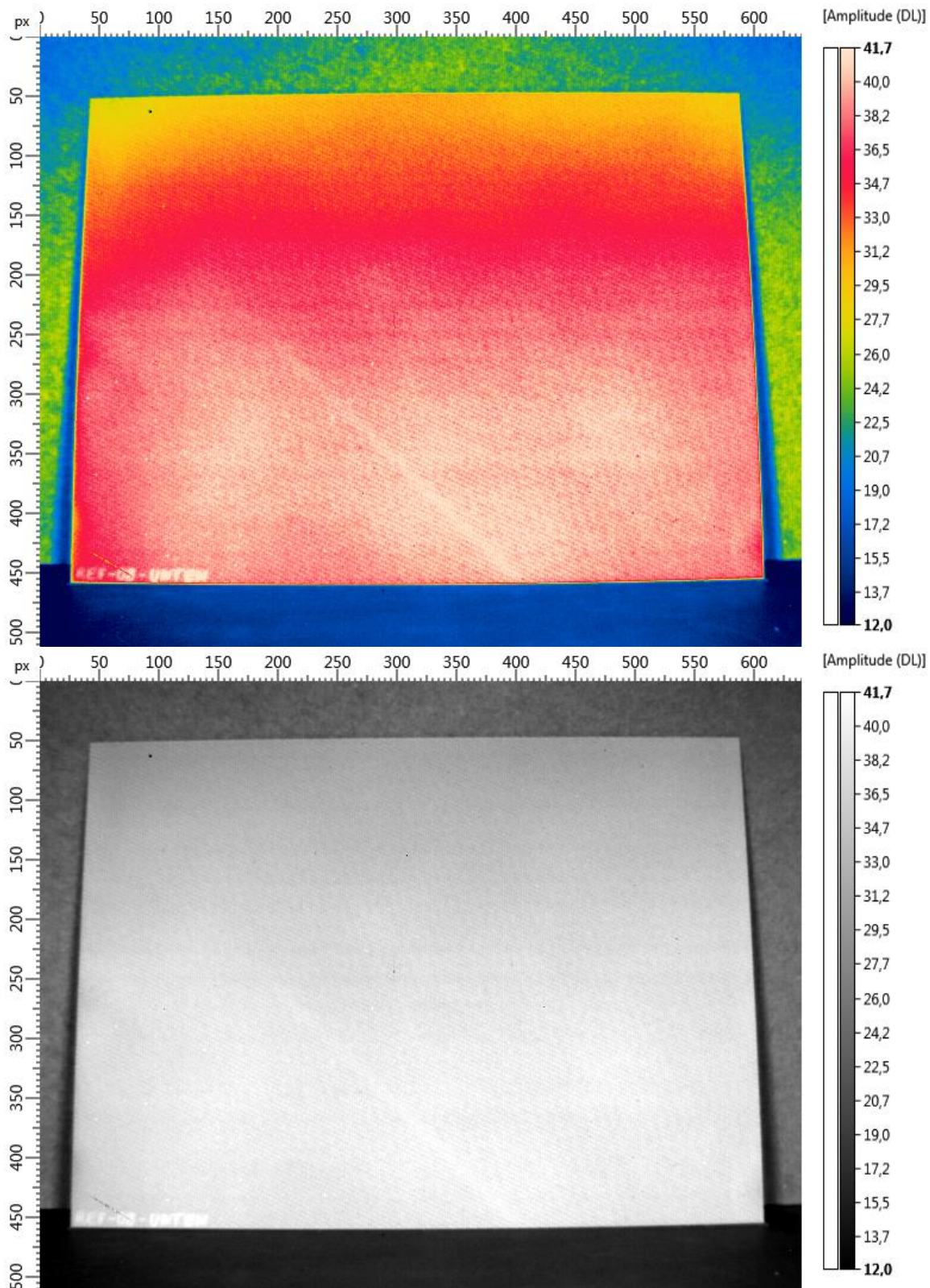


Abbildung 88: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

## 4.9.2. Messungen von UNTEN

### 4.9.2.1. 0,3 Hz = ca. 0,65 mm





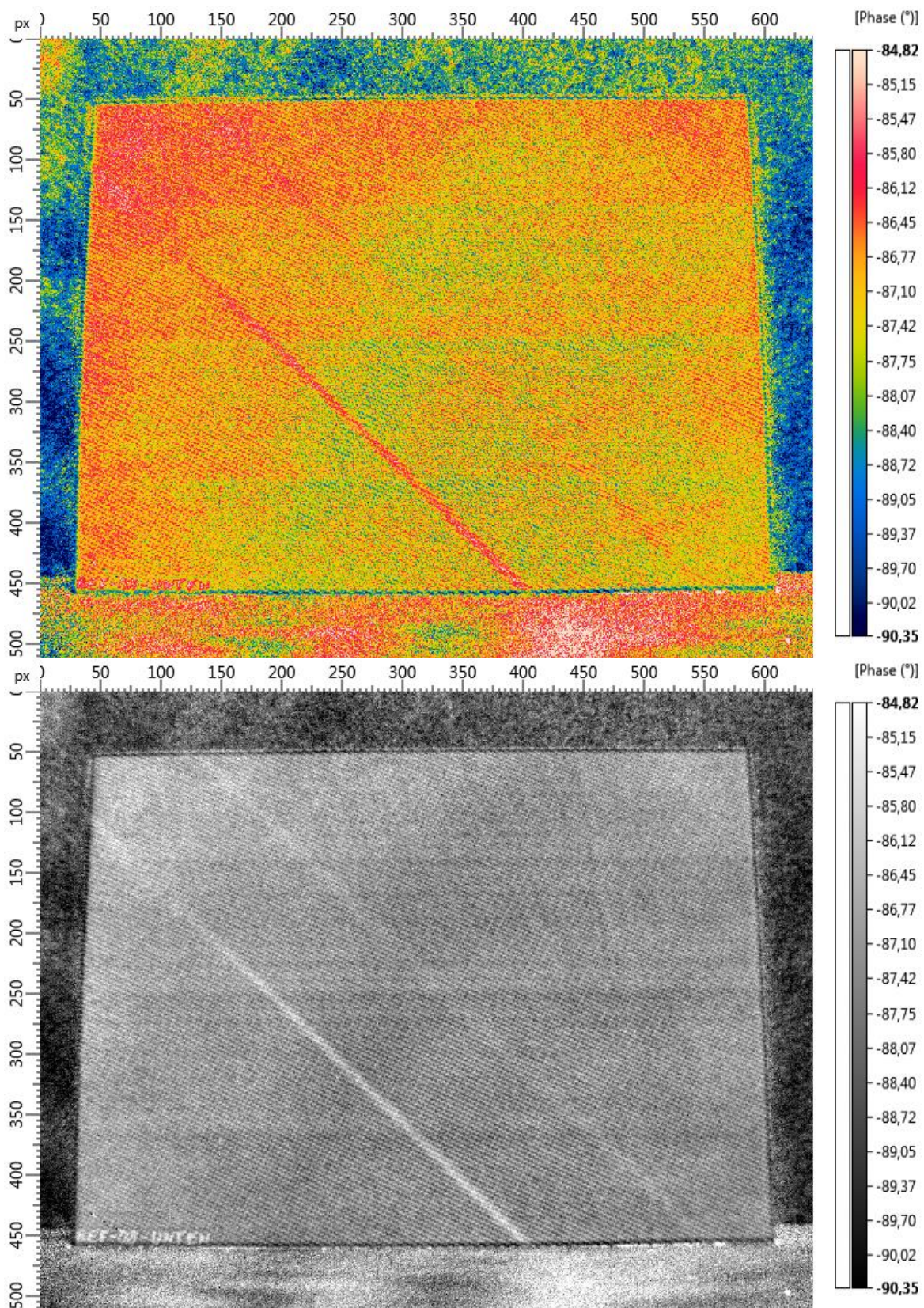
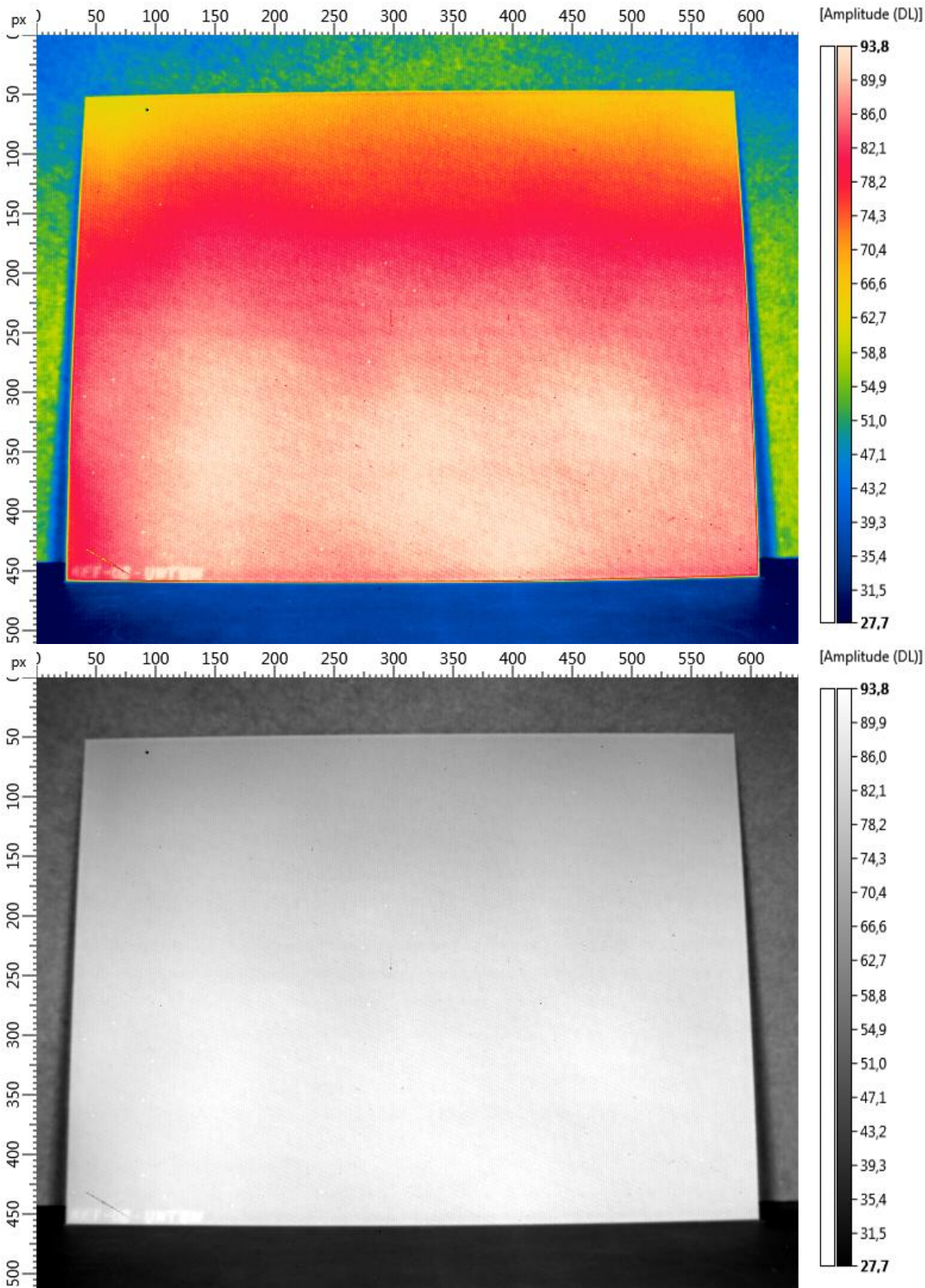


Abbildung 89: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala



4.9.2.2. 0,1 Hz = ca. 1,13 mm





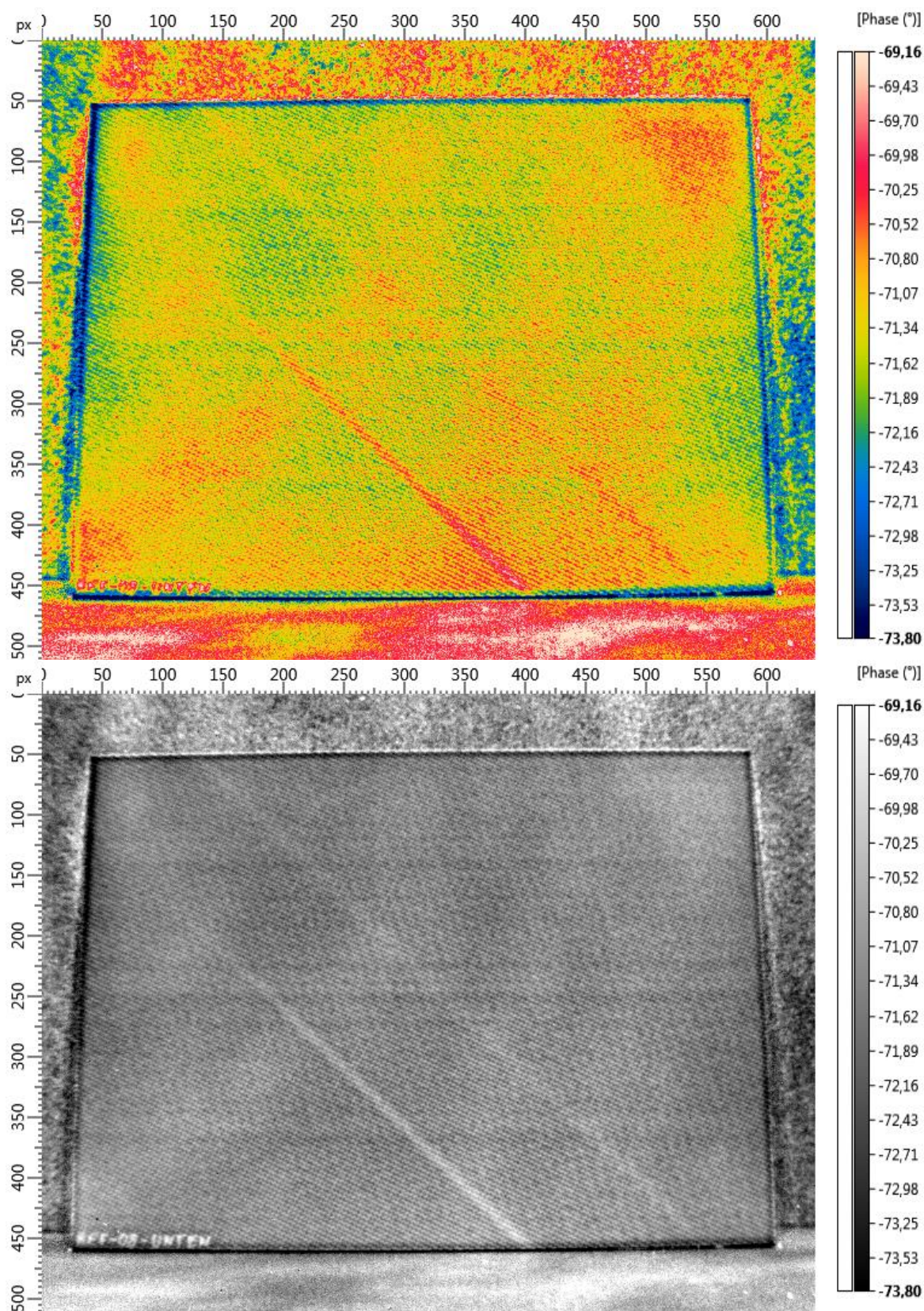
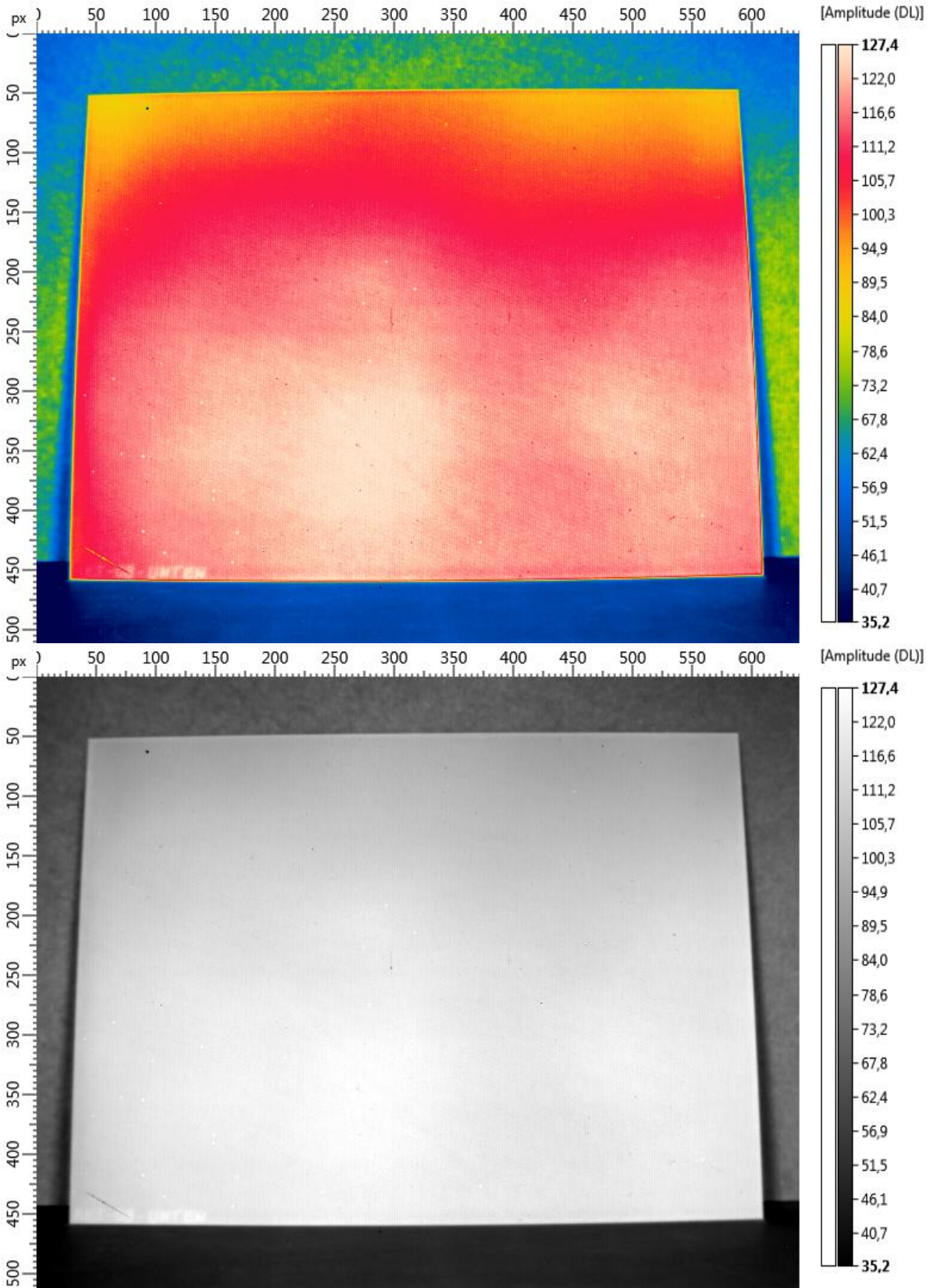


Abbildung 90: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala



**4.9.2.3. 0,05 Hz = ca. 1,60 mm**





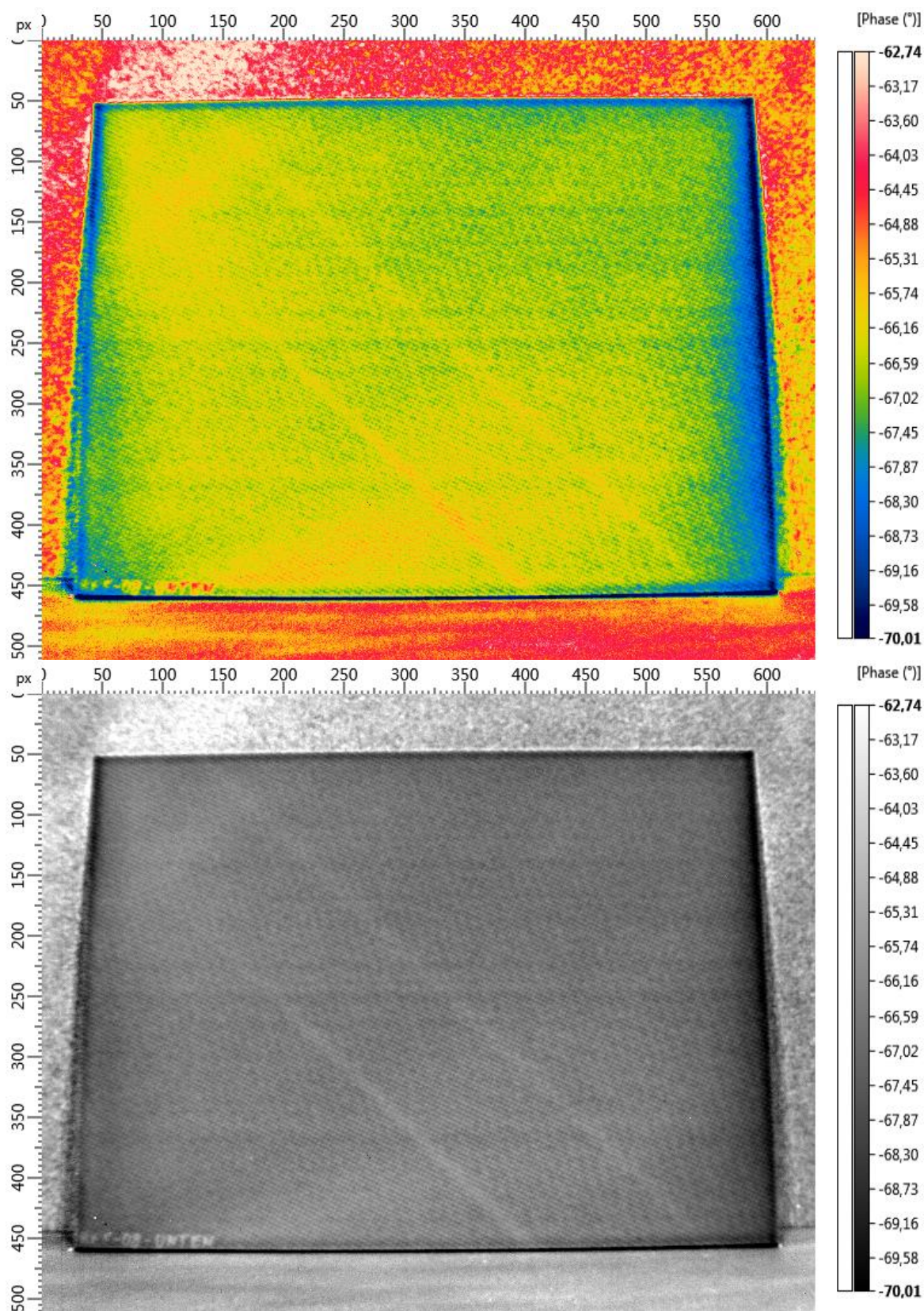
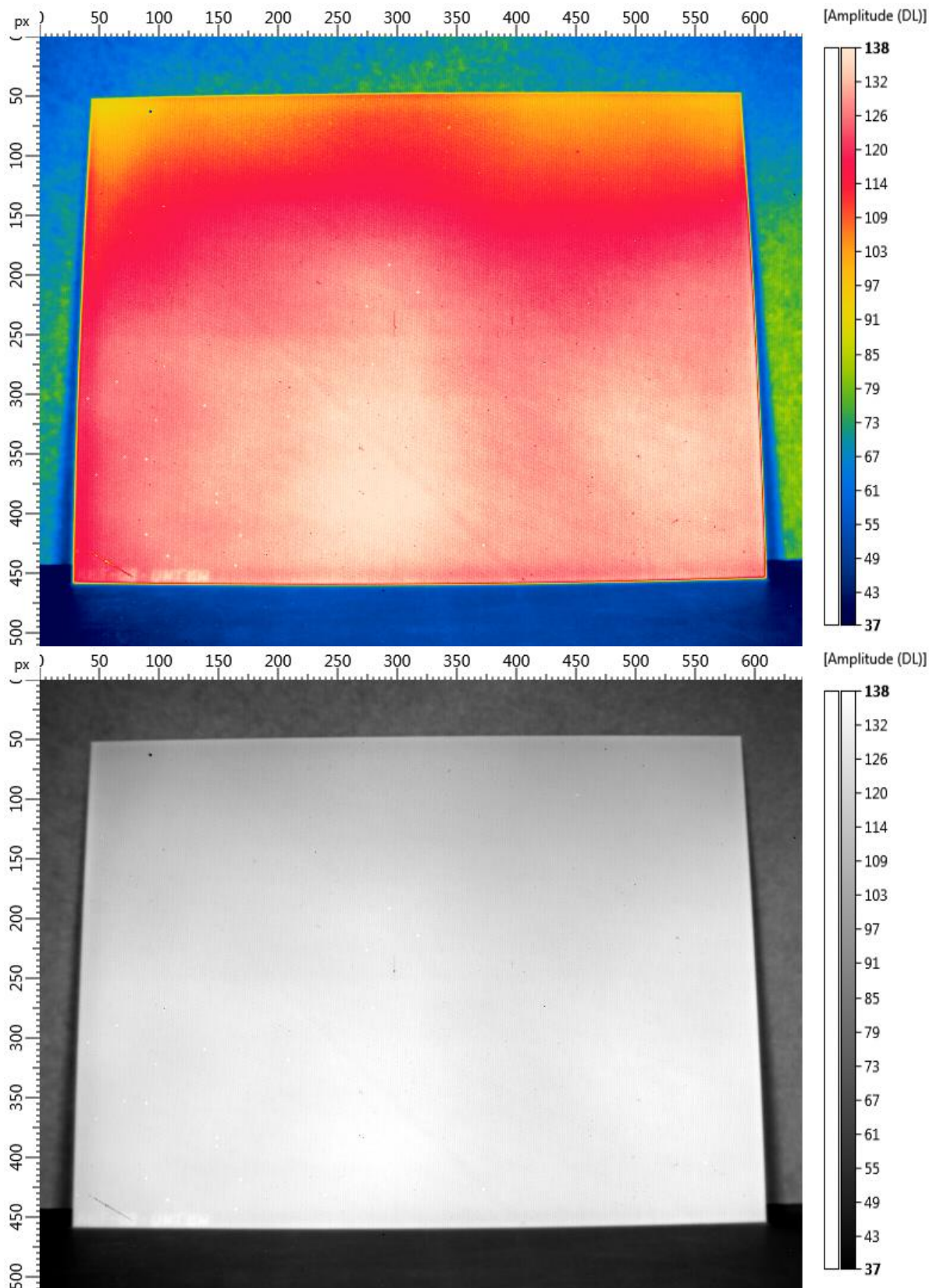


Abbildung 91: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala

#### 4.9.2.4. 0,03 Hz = ca. 2,06 mm





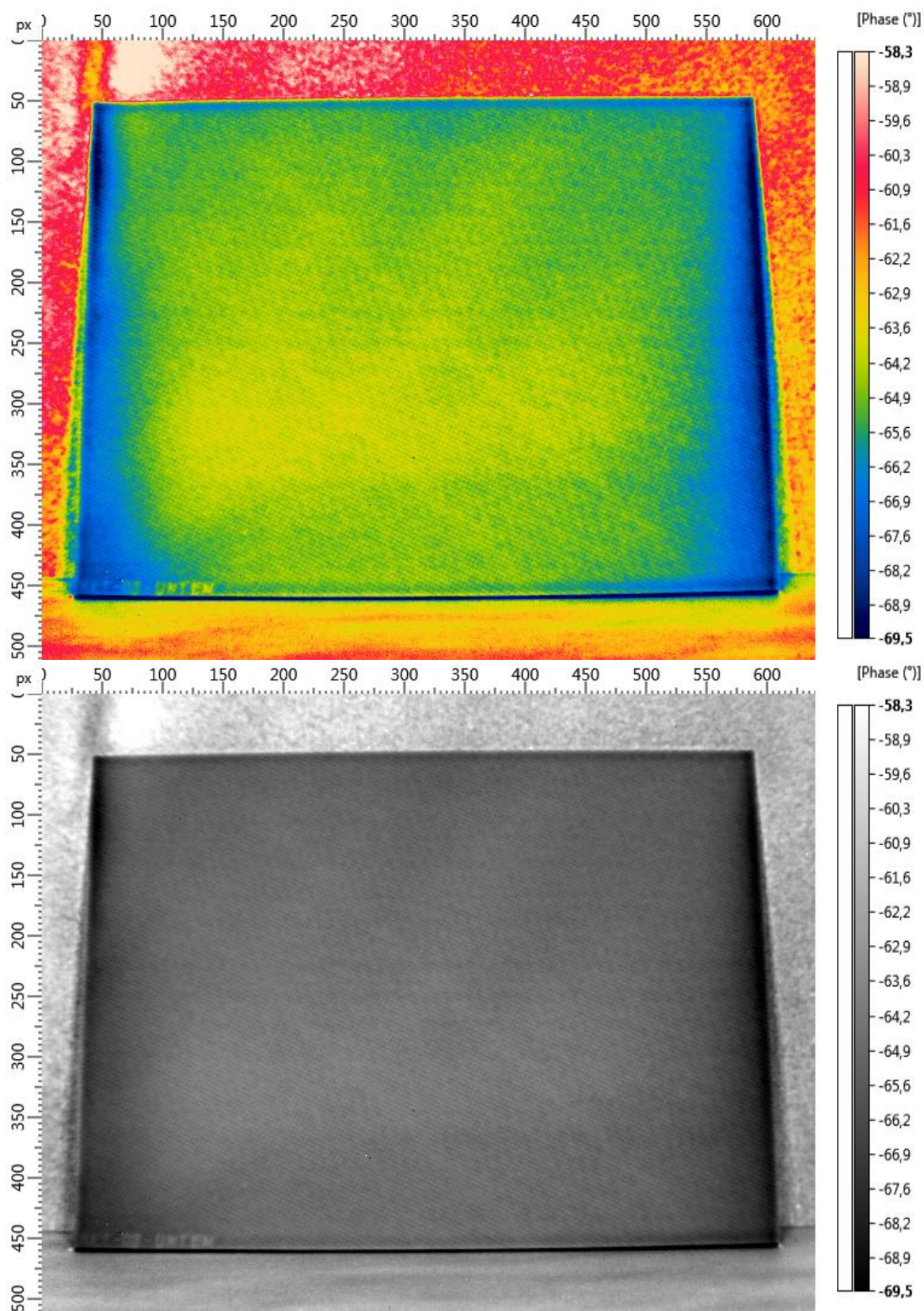
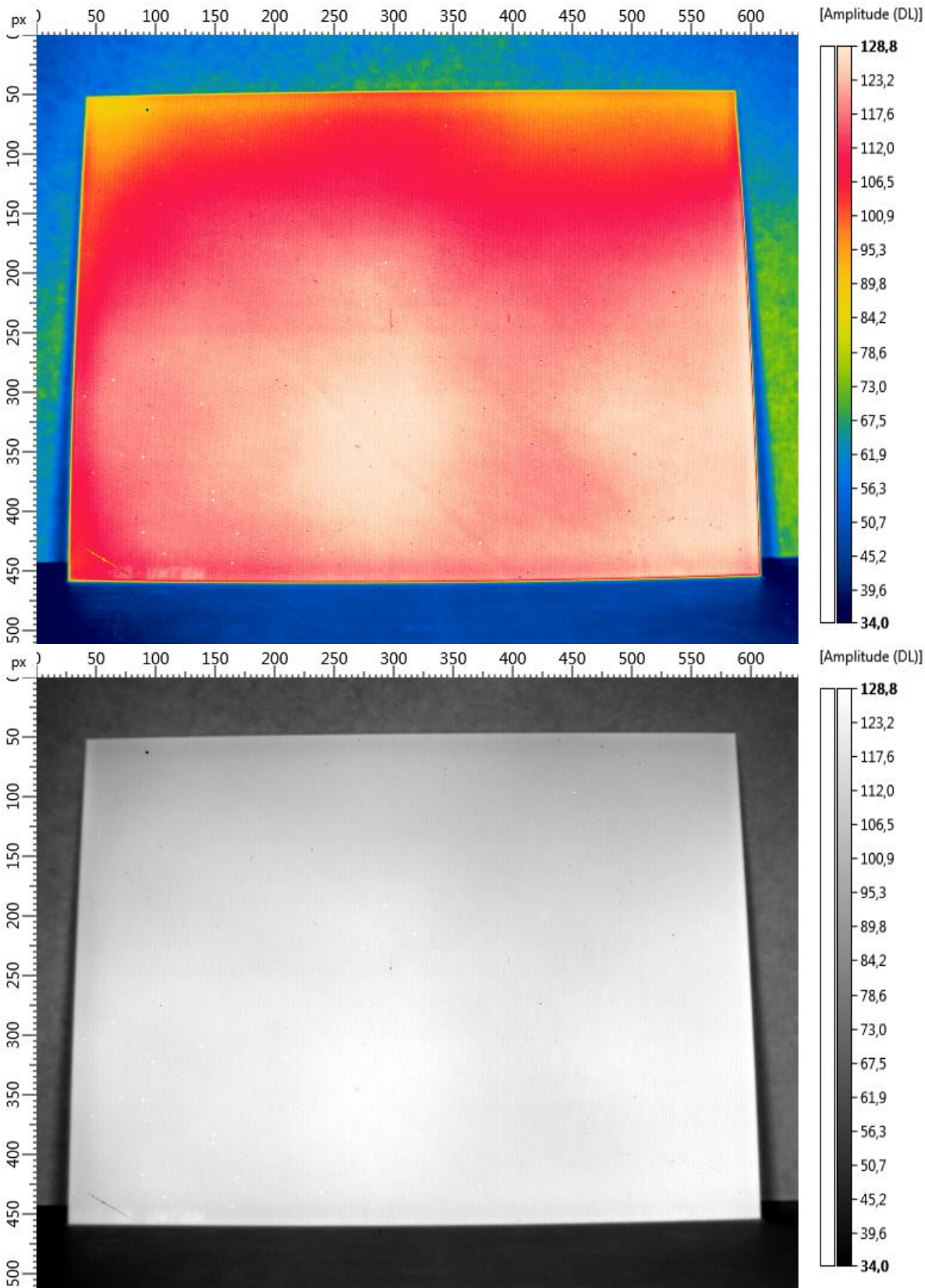


Abbildung 92: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei  $0,03\text{Hz} = 2,06\text{mm}$  in Rain und Grey Skala

4.9.2.5. 0,02 Hz = ca. 2,52 mm





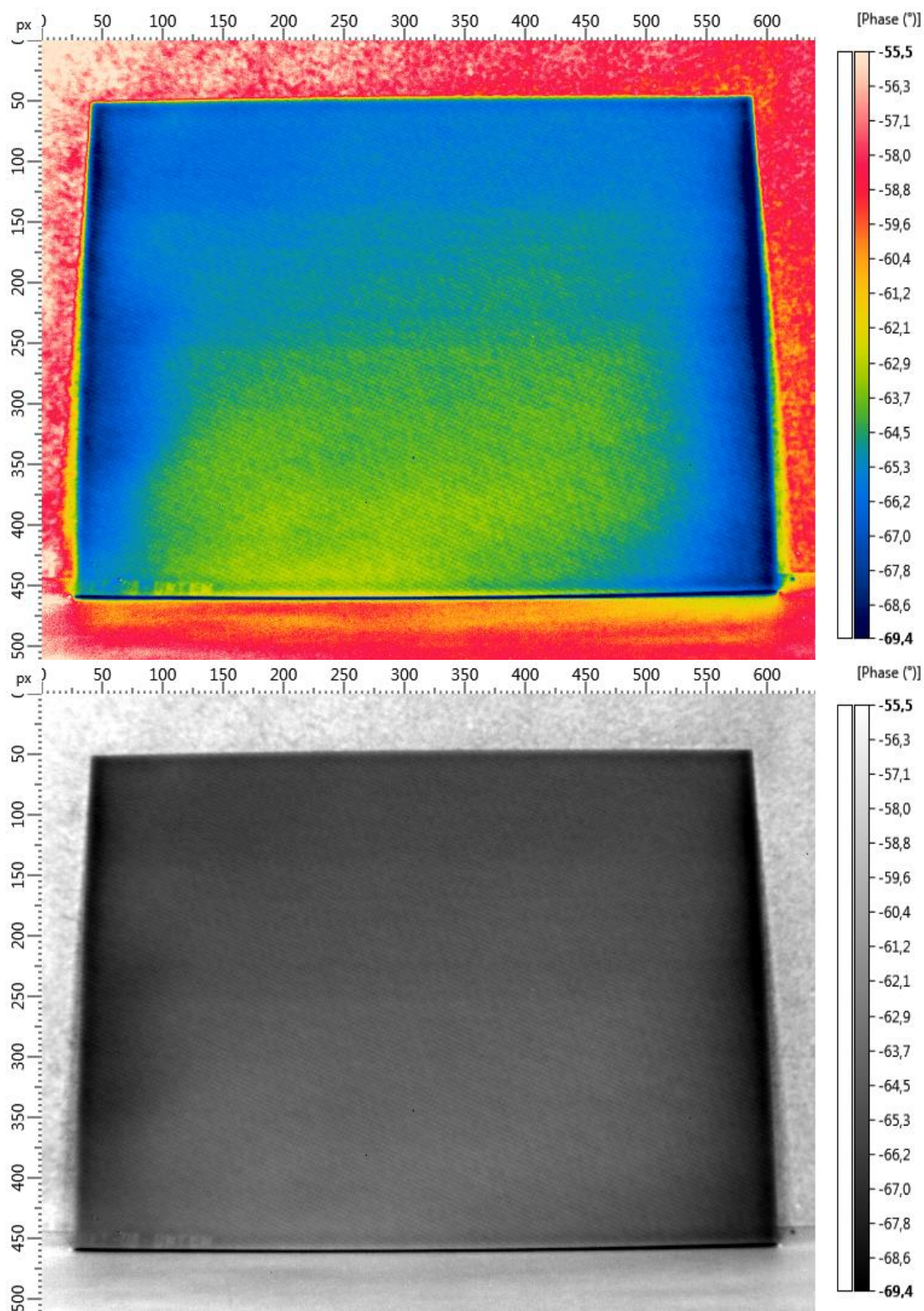


Abbildung 93: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala

### 4.9.3. Interpretierung

Grundlegend ist im Amplitudenbild aufgrund der schrägen Anordnung ein Gradient in der Amplitude von oben nach unten zu erwarten. Für Amplituden- und Phasenbild wird der Randeffect zu sehen sein. Der Randeffect entsteht durch die thermische Grenze der auslaufenden Platte und der Luft. Zudem berührt bei allen Thermogrammen die obere und untere Kante jeweils die Holzplatten und bietet somit den thermischen Wellen einen Übergang.

Als Indizien sind die diagonal verlaufenden Linien sowohl von OBEN als von UNTEN zu erkennen. OBEN und UNTEN sind 3 horizontal verlaufende Linien zu sehen.

Die diagonal verlaufenden Linien haben einen niedrigeren Phasenversatz und sprechen für eine bessere Wärmeleitung was durch den lokalen Überlapp der Fasern entsteht und somit kein Fehler vorliegt. Die horizontal verlaufenden Linien entstehen durch optische Einflüsse der Oberfläche, da sich hier die Fräskonturen des Pressentoolings widerspiegeln und somit auch keinen Fehler darstellen.

Abschließend lässt sich für diese Platte sagen, dass alle Indizien durch den Lagenaufbau, das Messverfahren und das Herstellungsverfahren zu erklären sind und somit über die Lock-In Thermographie keine Fehler erkennbar sind.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsaufbau .....	7
Abbildung 2: Kameraparameter .....	8
Abbildung 3: Messparameter .....	9
Abbildung 4: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	12
Abbildung 5: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	14
Abbildung 6: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	16
Abbildung 7: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	18
Abbildung 8: REF-1-A OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	20
Abbildung 9: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	22
Abbildung 10: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	24
Abbildung 11: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	26
Abbildung 12: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	28
Abbildung 13: REF-1-A UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	30
Abbildung 14: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	34
Abbildung 15: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	36
Abbildung 16: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	38
Abbildung 17: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	40
Abbildung 18: REF-01 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52 mm in Rain und Grey Skala .....	42
Abbildung 19: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	44
Abbildung 20: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	46

Abbildung 21: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	48
Abbildung 22: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	50
Abbildung 23: REF-01 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	52
Abbildung 24: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	56
Abbildung 25: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	58
Abbildung 26: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	60
Abbildung 27: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	62
Abbildung 28: REF-02 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	64
Abbildung 29: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	66
Abbildung 30: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	68
Abbildung 31: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	70
Abbildung 32: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	72
Abbildung 33: REF-02 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	74
Abbildung 34: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	78
Abbildung 35: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	80
Abbildung 36: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	82
Abbildung 37: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	84
Abbildung 38: REF-03 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	86
Abbildung 39: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	88
Abbildung 40: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	90



Abbildung 41: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	92
Abbildung 42: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	94
Abbildung 43: REF-03 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	96
Abbildung 44: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	100
Abbildung 45: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	102
Abbildung 46: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	104
Abbildung 47: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	106
Abbildung 48: REF-04 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	108
Abbildung 49: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	110
Abbildung 50: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	112
Abbildung 51: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	114
Abbildung 52: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	116
Abbildung 53: REF-04 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	118
Abbildung 54: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	122
Abbildung 55: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	124
Abbildung 56: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	126
Abbildung 57: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	128
Abbildung 58: REF-05 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	130
Abbildung 59: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	132
Abbildung 60: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	134

Abbildung 61: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	136
Abbildung 62: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	138
Abbildung 63: REF-05 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	140
Abbildung 64: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	144
Abbildung 65: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	146
Abbildung 66: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	148
Abbildung 67: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	150
Abbildung 68: REF-06 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	152
Abbildung 69: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	154
Abbildung 70: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	156
Abbildung 71: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	158
Abbildung 72: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	160
Abbildung 73: REF-06 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	162
Abbildung 74: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	166
Abbildung 75: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	168
Abbildung 76: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	170
Abbildung 77: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	172
Abbildung 78: REF-07 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	174
Abbildung 79: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	176
Abbildung 80: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	178



Abbildung 81: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	180
Abbildung 82: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	182
Abbildung 83: REF-07 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	184
Abbildung 84: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	188
Abbildung 85: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	190
Abbildung 86: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	192
Abbildung 87: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	194
Abbildung 88: REF-08 OBEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	196
Abbildung 89: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,3Hz = 0,65mm in Rain und Grey Skala .....	198
Abbildung 90: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,1Hz = 1,13mm in Rain und Grey Skala .....	200
Abbildung 91: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,05Hz = 1,60mm in Rain und Grey Skala .....	202
Abbildung 92: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,03Hz = 2,06mm in Rain und Grey Skala .....	204
Abbildung 93: REF-08 UNTEN Amplituden- und Phasenbilder bei 0,02Hz = 2,52mm in Rain und Grey Skala .....	206

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dickenmessung REF-1-A.....	10
Tabelle 2: Dickenmessung REF-01 .....	32
Tabelle 3: Dickenmessung REF-02 .....	54
Tabelle 4: Dickenmessung REF-03 .....	76
Tabelle 5: Dickenmessung REF-04 .....	98
Tabelle 6: Dickenmessung REF-05 .....	120
Tabelle 7: Dickenmessung REF-06 .....	142
Tabelle 8: Dickenmessung REF-07 .....	164
Tabelle 9: Dickenmessung REF-08 .....	186